

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Výběr nejvhodnější technologie výroby evolventního ozubení  
Choosing the Most Suitable Technology of Involute Gearing

Student:

**Jiří Ikonomidis**

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Ikonmidis**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Výběr nejvhodnější technologie výroby evolventního ozubení  
Choosing the Most Suitable Technology of Involute Gearing  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Technologie výroby ozubení.
3. Návrh technologií výroby pro konkrétní zakázku.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.  
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.  
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015  
Datum odevzdání: 16.05.2016

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 16. 5. 2016 .....

..... *Konrad Jir* .....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen, „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16. 5. 2016 .....

*Ikonomidis Jiří*  
.....  
podpis

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jiří Ikonomidis  
Družstevní 29  
79401 Krnov

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

IKONOMIDIS, J. *Výběr nejvhodnější technologie výroby evolventního ozubení: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 46s. Vedoucí práce: Čep, R.

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodné technologie výroby evolventního ozubení. V úvodu jsou uvedeny základní informace o ozubení a ozubených kolech. Dále jsou popsány nejpoužívanější metody výroby ozubení. Hlavní část bakalářské práce se zabývá popisem způsobu výroby evolventního ozubení pro konkrétní zakázku. Na začátku je vybrán vhodný obráběcí stroj. Následuje návrh a popis výroby upínacího přípravku a výběr obráběcích nástrojů. Dále je stručně popsán způsob tvorby programu pro CNC stroj pomocí softwaru SolidCAM. Na závěr je provedeno zhodnocení vybraného způsobu výroby po technické i ekonomické stránce.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

IKONOMIDIS, J., *Choosing the Most Suitable Technology of Involute Gearing: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2016, 46p. Thesis head: Čep, R.

This thesis deals with the selection and evolution of suitable involute gearing production technology. The introduction provides basic information about gears and sprockets. Further the most widely used methods for the production of toothing are described. The main part of the thesis describes a method of producing involute gearing for a specific contract. The beginning deals with the selection of a suitable machine tool followed by a description of design and manufacturing fixtures and the selection of cutting tools. The following work briefly describes the formation of a program for CNC machining using SolidCAM software. At the end is a technical and economical appreciation of the chosen method of production.

## Obsah

1. Úvod do problematiky ozubení.....	8
1.1 Evolventní ozubení.....	8
1.2 Cykloidní ozubení.....	9
1.3 Základní pojmy geometrie ozubení.....	10
1.4 Rozdělení ozubených kol.....	12
2. Technologie výroby ozubení .....	14
2.1 Frézování odvalovacím způsobem .....	14
2.2 Frézování dělicím způsobem.....	15
2.3 Výroba ozubení obrazy.....	16
2.4 Protahování a protlačování.....	19
2.5 Elektrojiskrové drátové řezání .....	20
2.6 Frézování na víceosých CNC frézovacích centrech .....	21
3. Návrh technologie výroby pro konkrétní zakázku .....	22
3.1 Materiál součásti.....	23
3.2 Vytvoření 3D modelů .....	23
3.3 Výběr stroje.....	24
3.4 Vytvoření přípravku pro upínání .....	28
3.5 Postup výroby a výběr vhodných nástrojů.....	30
3.6 Vytvoření programu pro obrábění v CAD/CAM .....	35
3.7 Výroba .....	37
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.....	39
4.1 Technické parametry výrobku.....	39
4.2 Ekonomické zhodnocení .....	40
5. Závěr.....	44
6. Použitá literatura.....	45
7. Seznam příloh.....	46

## Seznam použitých zkratk

3D	[-]	trojrozměrný
$a_p$	[mm]	hloubka třísky při obrábění
CAD	[-]	computer aided design (počítačová podpora navrhování)
CAM	[-]	computer aided manufacturing (počítačová podpora výroby)
CNC	[-]	computer numeric control (počítačové číslicové řízení)
$D_a$	[mm]	hlavová kružnice
$D_f$	[mm]	patní kružnice
EN	[-]	evropská norma
$F_z$	[mm]	posuv na zub
$h_a$	[mm]	hlava zubu
$h_f$	[mm]	pata zubu
HFC	[-]	high feed cutting (vysokoposuvové obrábění)
HRC	[-]	tvrdost určená diamantovým kuželem při zatížení 1500 N
HSM	[-]	high speed machining (vysokorychlostní obrábění)
HSR	[-]	high speed roughing (vysokorychlostní hrubování)
NC	[-]	numerical control (číslicově řízený)
$n_n$	[1.min <sup>-1</sup> ]	otáčky nástroje
$n_o$	[1.min <sup>-1</sup> ]	otáčky obráběného kola
$R_a$	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu povrchu
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
$z_o$	[-]	počet zubů obráběného kola

## 1. Úvod do problematiky ozubení

Ozubené převody jsou strojní součásti sloužící k plynulému přenášení otáčivého pohybu a kroutícího momentu. K přenosu energie zde dochází bez skluzu, odvalováním po plochách zubů. To zabraňuje rychlému opotřebení, energetickým ztrátám a také zvýšené hlučnosti při provozu soukolí. Ozubené převody se proto vyznačují velkou účinností, spolehlivou funkcí, dlouhou životností a jednoduchou obsluhou. Především se používají pro převody s pevně daným nebo stupňovitě měnitelným převodovým poměrem a s malou osovou vzdáleností hřídelů.



Obr. č. 1.1 - Evolventní ozubené kolo

Výroba ozubení patří ve strojírenském průmyslu k jednomu z velmi důležitých výrobních procesů. Ozubené převody se řadí mezi složitější strojní součásti, jak po stránce teoretické a konstrukční, tak po stránce výrobní. V souladu s vývojem nových obráběcích strojů, nástrojů a technologií, jsou neustále vyvíjeny a zdokonalovány i metody výroby ozubení a ozubených kol.

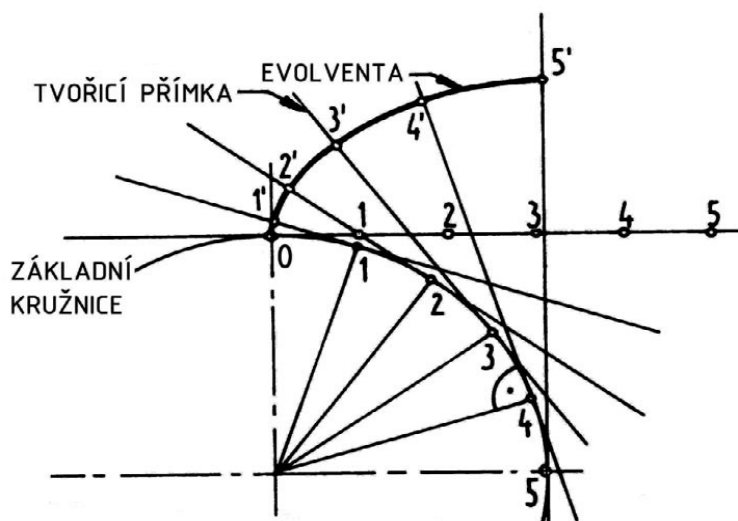
Tvar profilu zubů, v rovině kolmé k ose otáčení kola, musí být tvořen takovou křivkou, která umožňuje vzájemné odvalování spolu zabírajících zubů po sobě bez skluzu. Dodržení této podmínky je možné tehdy, pokud společná normálová přímka obou boků zubů prochází nehybným, tzv. valivým bodem. Důležitou podmínkou pro správnou funkci ozubení je, aby při konstantní úhlové rychlosti hnacího kola byla konstantní i úhlová rychlost kola hnaného. Mluvíme zde o nutnosti dodržení tzv. podmínky stálého převodového poměru. Podmínce konstantní úhlové rychlosti vyhovuje takové ozubení, které má tvar boku zubu evolventní nebo cykloidní.

### 1.1 Evolventní ozubení

Evolventa je rovinná křivka, protínající kolmo všechny tečny kružnice. Vzniká jako křivka, kterou opisuje bod tvořící přímky při jejím valení po základní kružnici. Evolventa dobře splňuje požadavky na neměnný převodový poměr. Toto ozubení není citlivé vůči výrobním úchylkám, je relativně jednoduché na výrobu a má velmi nízké ztráty třením.



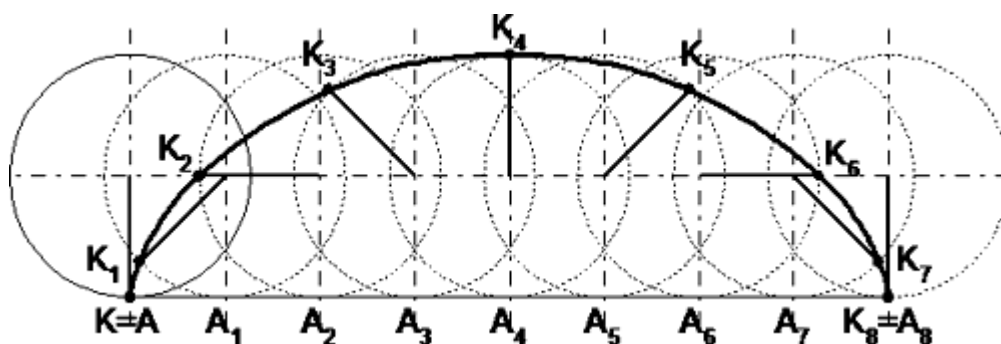
Evolventní ozubení je ve strojírenství nejrozšířenějším typem ozubení, především díky snadné výrobě a normalizaci nástrojů pro jeho výrobu.



Obr. č. 1.2 – Konstrukce evolventy [1]

## 1.2 Cykloidní ozubení

Cykloida je cyklická křivka, kterou vytvoří bod na kružnici, která se valí po přímce. Má tvar neustále opakujících se oblouků.



Obr. č. 1.3 – Konstrukce cykloidy [2]

Cykloidní ozubení má menší ztráty třením a tím pádem i menší opotřebení než ozubení evolventní. Převod s těmito koly má lepší časování díky velmi nízkému prokluzu v záběru a menšímu záběrovému úhlu. Nedochozí tak během jeho chodu k příliš velkým změnám úhlové rychlosti poháněného kola. Proto má toto ozubení vysokou účinnost a je

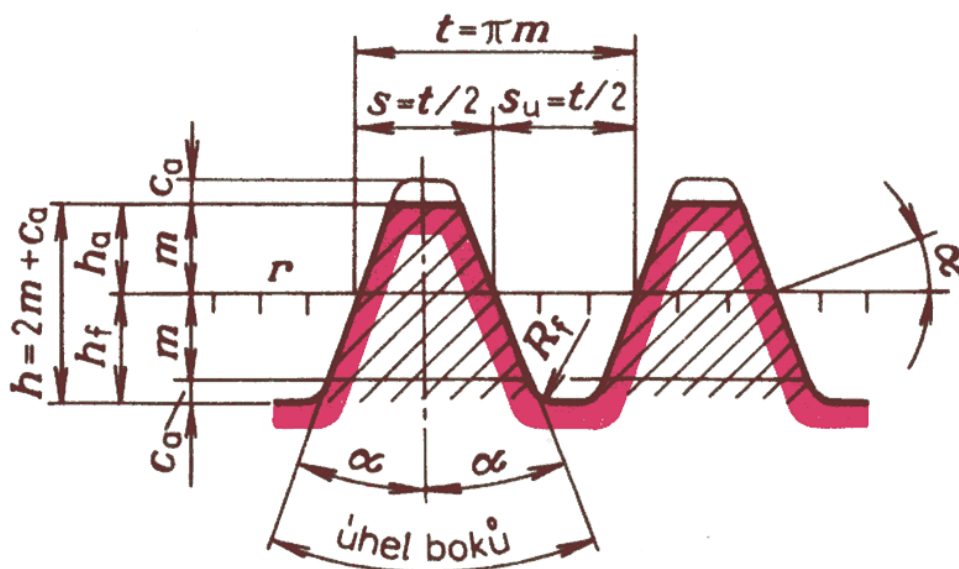
také schopno dosáhnout vysokých převodových poměrů bez toho, aby docházelo ke kolizím zubů.

Z popisu geometrie evolventního a cykloidního ozubení je zřejmé, že konkrétní tvar těchto křivek je závislý na průměru základní kružnice. Navíc tvar cykloidy závisí také na průměru tvořící kružnice. Z tohoto důvodu je výroba cykloidního ozubení složitější, než výroba ozubení evolventního. Také nástroje na výrobu tohoto ozubení jsou nepoměrně složitější na výrobu a tudíž i dražší. Navíc tyto převody jsou velmi citlivé na přesnost výroby, a proto se v dřívějších dobách využívali poměrně zřídka. Díky svým přednostem se cykloidního ozubení využívá především v přesné mechanice a v hodinářství.

Protože drtivá většina ozubení vyráběného i používaného ve strojírenství je ozubením evolventním, jsou následující kapitoly věnované výrobě jen tohoto druhu ozubení.

### 1.3 Základní pojmy geometrie ozubení

**Základní profil evolventního ozubení** - je řez ozubením základního hřebenu, který je částí ozubeného kola s nekonečně velkým poloměrem roztečné kružnice. Ta při nekonečném poloměru přechází v roztečnou přímku  $r$ .



Obr. č. 1.4 – Základní profil evolventního ozubení [3]

**Modul  $m$**  – základní parametr ozubeného kola. Jedná se o poměr průměru roztečné kružnice a počtu zubů daného kola. Základní velikosti jsou modulů normalizovány ČSN 01 4608. Výpočet velikosti modulu nekorigovaného kola:  $m = \frac{d}{z}$

**Základní kružnice** - kružnice, po které se odvaluje přímka s bodem opisujícím evolventu.

**Roztečná kružnice  $D$**  - rozděluje zub a zubovou mezeru stejným dílem.

**Hlavová kružnice  $D_a$**  - se nazývá kružnice procházející nejvyššími body hlav zubů.

Výpočet:  $D_a = (z + 2) \cdot m$

**Patní kružnice  $D_f$**  - kružnice procházející nejnižšími body pat zubů

**Úhel záběru  $\alpha$**  - je úhel mezi normálou ke střednici a čarou záběru.

**Vzdálenost  $os$**  - délka přímé spojnice hřidelů dvou vzájemně zabírajících kol

**Výška hlavy zubu  $h_a$**  -  $h_a = 1 \cdot m$

**Výška paty zubu  $h_f$**  -  $h_f = 1,25 \cdot m$

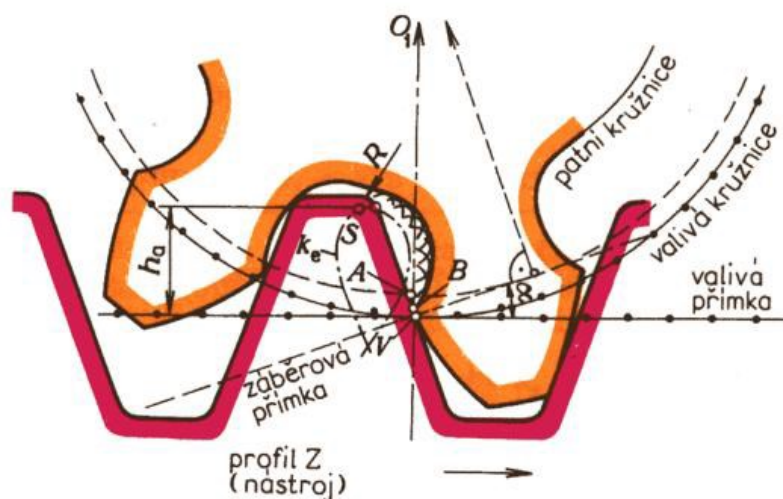
**Výška zubu  $h$**  - součet velikostí hlavy a paty zubu.  $h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m$

**Hlavová vůle** - (radiální) je rozdíl mezi výškou hlavy a patou zubu (podle způsobu výroby)

**Boční vůle** - je minimální vzdálenost nezabírajících boků zubů dvou ozubených kol v momentě záběru protilehlých boků zubů a je měřena na kolmici k bokům zubů.

### Podřezání

Podřezání zubů nastává již při výrobě kola. Jedná se o odebrání části jeho boků v oblasti paty tak, že se poruší jeho optimální tvar a správný záběr, který má zajistit neměnný převodový poměr. Také se zmenší tloušťka paty zubu, který se tak pevnostně oslabí. Z tohoto důvodu může dojít k lomu zubu. Lehké podřezání zubů je většinou tolerováno, avšak velké podřezání, z výše uvedených důvodů, tolerovat nelze.



Obr. č. 1.5 – Podřezání zubů [3]

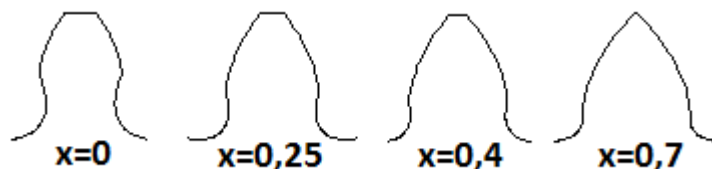
Velikost podřezání je možno vypočítat analytickou metodou, nebo metodou grafickou, nakreslením zubů a jejich drah. Pro standardní úhel záběru  $\alpha=20^\circ$  je teoretický minimální

počet zubů  $z = 17$ , praktický je však nižší, a to  $z = 14$ . Při menším počtu zubů ozubeného kola je proto potřeba provést korekci ozubení a to např. posunutím základního profilu.

### Korekce ozubení

Korekcí je míněno úmyslné posunutí výšky hlavy a paty zubů při zachování průměru roztečné i základní kružnice. Kromě zabránění podřezání paty zubů se korekce ozubení používá také v případech, kdy chceme zabránit špičatosti zubů, dosáhnout přesné osové vzdálenosti dvou kol, zlepšit účinnost a únosnost ozubení a také snížit vibrace. Korekcí je také možno zabránit vzniku výrobních a provozních interferencí zubů.

Má-li být při korigování zachována původní osová vzdálenost obou ozubených kol, je nutno korigovat jedno kolo s použitím zvětšení průměrů jeho hlavové a patní kružnice a druhé kolo naopak pomocí zmenšení průměrů těchto jeho kružnic. Velikost zvětšení a zmenšení musí být v obou případech stejná..



Obr. č. 1.6 – Vliv korekce ozubení na tvar zubu [4]

Velikost posunutí je vyjádřena součinem  $x \cdot m$ , kde  $x$  je jednotkové posunutí a  $m$  je modul ozubení. Korekcí se mění profil a rozměry zubu kola, ale nemění se základní kružnice a evolventa. Posunutí základního profilu je buď kladné, to znamená od středu kola ven, nebo záporné, to je směrem do středu kola.

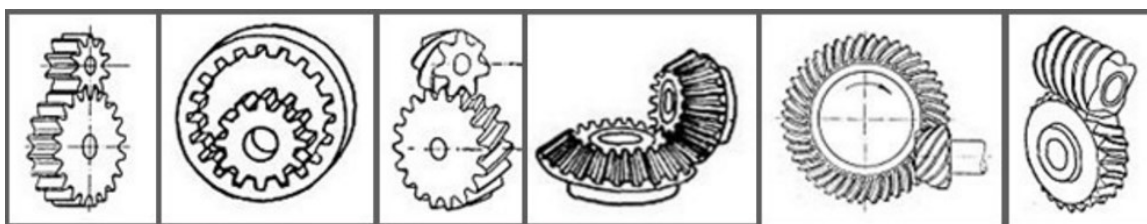
Princip provedení korekce spočívá v přibližování nebo oddalování výrobního nástroje od středu kola při výrobě ozubení, tím se mění tvar i vlastnosti evolventního ozubení a vytváří se tak ozubení korigované. Posunutí je označeno písmenem  $x$  a udává násobek modulu o který je nástroj posunut buď směrem k ose, záporná korekce, nebo směrem od osy ozubeného kola, kladná korekce.

### 1.4 Rozdělení ozubených kol

Ozubená kola se rozdělují podle tří hledisek. Jednak podle vzájemné polohy os obou kol a dále podle tvaru boční křivky zubu, která je průsečnicí boční plochy zubu s roztečnou, valivou a nebo jinou souosou plochou ozubeného kola stejného typu. Třetím kritériem pro dělení ozubených kol je to, zda při vzájemném dotyku dochází ke tření či ne.

## Podle vzájemné polohy os

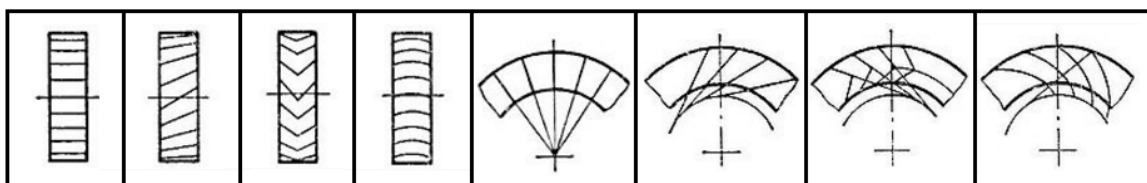
Podle vzájemné polohy os jsou soukolí rozdělena pro osy rovnoběžné, různoběžné a mimoběžné. Pro osy rovnoběžné se používá čelních soukolí s vnějším nebo vnitřním ozubením. Pro osy různoběžné se používá soukolí kuželové. Pro osy mimoběžné se používá šroubová soukolí, z nich nejčastěji válcová šroubová soukolí, dále pak soukolí šneková a hypoidní.



Obr. č. 1.7 - Rozdělení ozubených kolo podle vzájemné polohy os [6]

## Podle průběhu zubů

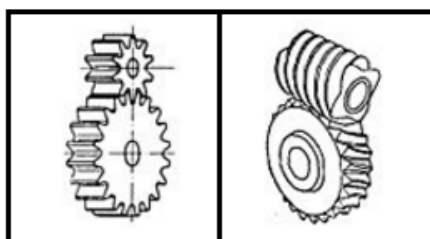
Ozubená kola podle průběhu zubů dělíme na kola čelní s přímými, šikmými, šípovitými a zakřivenými zuby a kola kuželová s přímými, šikmými, šípovitými a zakřivenými zuby.



Obr. č. 1.8 – Rozdělení ozubených kol podle průběhu zubů [6]

## Podle kinetických poměrů

Podle kinetických poměrů dělíme soukolí na valivá, kdy se boky zubů po sobě odvalují a nedochází ke tření a na soukolí šroubová, kdy se naopak boky zubů o sebe otírají.



Obr. č. 1.9 – Druhy ozubení podle kinetických poměrů [6]

## 2. Technologie výroby ozubení

Při výrobě ozubení se užívá dvou základních metod. Odvalovací a dělicí. Při odvalovacím způsobu vzniká profil zubů odvalováním pláště nástroje po boku obrobku. Při dělicím způsobu výroby se profil nástroje do obrobku kopíruje zub po zubu.

### 2.1 Frézování odvalovacím způsobem

Odvalovací frézování je nejproduktivnější metodou pro výrobu ozubených kol. Odvalovací frézování čelních ozubených kol je založeno na principu záběru válcového šneku - nástroje, s ozubeným kolem - obrobkem. Nástrojem pro výrobu je odvalovací fréza, jež má tvar evolventního šneku. Profil tohoto šneku je v kolmé rovině tvořen základním hřebenem. Čelní plochy břitů zubů jsou vytvořeny drážkami, které přerušují spirálu šneku. Čelo a boky zubů jsou vyráběny podbroušením nebo podsoustružením tak, aby na hlavním i vedlejších hřbetech byly vytvořeny odpovídající úhly hřbetu.

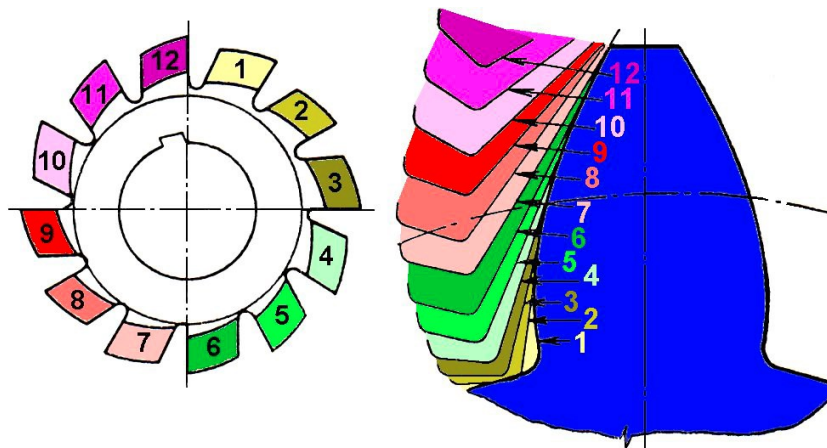
Kinematika řezného pohybu při odvalovacím frézování vychází z podmínky:

$$\frac{n_o}{n} = \frac{z}{z_o}$$

- $n_o$  - otáčky obráběného kola,
- $n$  – otáčky nástroje, odvalovací frézy,
- $z_o$  - počet zubů obráběného kola,
- $z$  - počet chodů odvalovací frézy.

### Stroje pro frézování odvalovacím způsobem

Frézování odvalovacím způsobem je prováděno na odvalovacích frézách, které bývají vybaveny zpravidla zařízením pro práci v automatickém cyklu. Odvalovací frézování je metoda univerzální a velmi výkonná. Je možno jí obrábět čelní ozubená kola s přímými i šroubovými (šikmými) zuby, šneková kola, kuželová kola se zakřivenými zuby a speciálním nástrojem, např. drážkové hřídele, rohatky, bubnové vačky, řetězová kola, drážky vrtáků apod.



Obr. č. 2.1 - Princip tvorby evolventy při odvalovacím frézování [7]



Řezný pohyb je vytvořen rotací frézy. Obráběné ozubené kolo rotuje otáčkami  $n_o$  tak, že se během jedné otáčky nástroje pootočí o jednu zubovou rozteč. Takto se plynule vyfrézují všechny zuby. Aby se vytvořilo ozubení po celé šířce vyráběného kola, musí se fréza zároveň pohybovat ve směru obráběných zubů posuvem s rychlostí  $v_f$ . Směr pohybu frézy může být shodný se smyslem jejich otáček (v tom případě jde o nesousledné frézování), nebo může mít opačný směr (zde hovoříme sousledném frézování). Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje. Jedinou odvalovací frézou je možné vyrábět ozubená kola stejného modulu s jakýmkoliv počtem a úhlem sklonu zubů.

### Nástroje pro odvalovací frézování

Nástroj je odvalovací fréza. Princip obrábění je založen na záběru šneku (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástroj má tvar jednochodého (dvouchodého) šneku, stejného modulu jako ozubené kolo. Břity odvalovací frézy jsou vytvořeny 8 až 12 drážkami, kolmými na stoupání šroubovice. Fréza je při práci natočena vzhledem k obrobku o úhel stoupání šroubovice frézy a otáčí se za jednu otáčku ozubeného kola tolikrát, kolik zubů má kolo. Při obrábění kol s přímými zuby, se nástroj natáčí k rovině kolmé vůči ose kola o úhel nastavení  $\eta$ . Tento úhel je roven stoupání šroubovice  $\omega$  použité odvalovací frézy. Směr úhlu nastavení  $\eta$  závisí na tom, jestli jde o nástroj pravochoďý nebo levochoďý.

Určitou nevýhodou odvalovacího frézování je velký výběh nástroje a nemožnost výroby vnitřního ozubení.



Obr. č . 2.2 – Odvalovací frézy [5]

## 2.2 Frézování dělicím způsobem

Obrábění tvarovým nástrojem. Tento způsob je založen na odstraňování zubové mezery nástrojem, který má totožný tvar jako zubová mezera. Čili pro každou velikost a tvar zubu je použit jiný nástroj. Jako nástroj se nejčastěji používá kotoučová, nebo stopková fréza. Může být použit i tvarový brusný kotouč pro dokončovací operace. Po

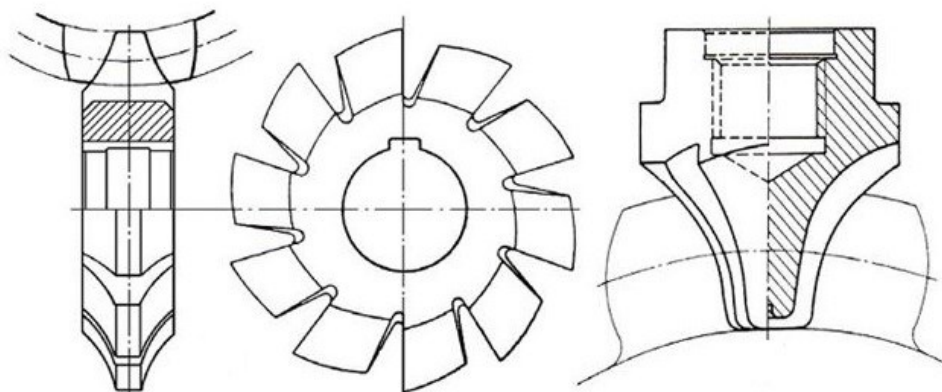
vytvoření jedné zubové mezery je potřeba pootočit obrobek o požadovaný úhel. To je provedeno přesným dělicím mechanismem. Dělení se provádí ručně nebo automaticky.

### **Stroje**

Tato metoda nevyžaduje speciální stroje, ozubení se zhotovuje na univerzálních frézkách.

### **Nástroje**

Nástrojem je kotoučová nebo stopková tvarová fréza. Tvarovou kotoučovou frézou se vyrábějí kuželová kola s přímými a šikmými zuby. Stopkovou frézou je možné také obrábět ozubení se šípovými, nebo zakřivenými zuby. Frézy jsou vyrobeny z rychlořezné oceli. Čepové frézy se používají pro výrobu ozubení větších rozměrů modulů do 50 mm.



Obr. č. 2.3 – Kotoučová a stopková modulová fréza [7]

Tento způsob výroby je vhodný pro výrobu kuželových kol, kde nejsou kladeny nároky na přesnost ozubení. Nejčastěji se používá této metody k hrubování před dokončovacími metodami (např. obrázení podle šablony nebo odvalovacími metodami). Tato metoda je vhodná pouze pro kusovou výrobu. Frézování dělicím způsobem je metoda, při níž se frézuje každá zubová mezera zvlášť. Aby se zlepšila geometrická přesnost ozubení nejprve se vyhrubuje střed zubové mezery. Následně se frézují na čisto obě strany zubové mezery, každá zvlášť. Po vyrobení první zubové mezery se nástroj otočí o jednu rozteč a celý cyklus se opakuje, dokud není ozubení vyrobené po celém obvodu.

## **2.3 Výroba ozubení obrážením**

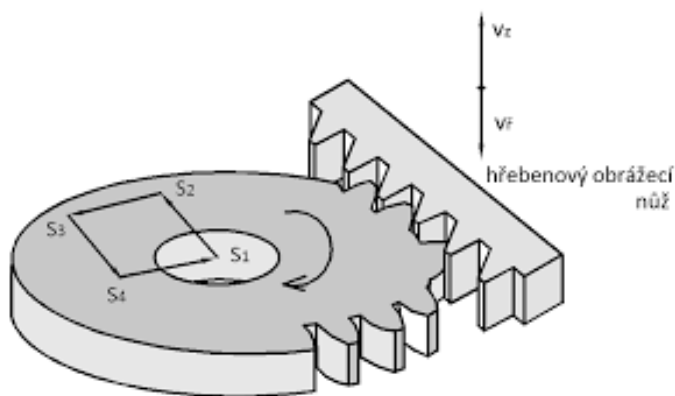
Obrázení ozubení je vysoce přesná metoda výroby ozubení, kterou je možné vyrábět i vnitřní ozubení. Podle použitých nástrojů jej dělíme na obrázení hřebenovým nebo kotoučovým nožem a obrázení dvěma noži. Nástroj je nastaven do požadované hloubky



řezu a koná přímočaré vratné pohyby. Odvalování je zajištěno složením otáčivého pohybu obrobku při dané délce zdvihu. Na obrážecích strojích je možné jedním nástrojem určitého modulu obrábět kola s libovolnými počty zubů, korigovaná i nekorigovaná, s příkými i šikmými zuby.

### Obrážení hřebenovým nožem

Nástroj, hřeben, koná hlavní přímočarý vratný pohyb kolmo k nákresně. Hřeben a vyráběné ozubené kolo spolu zabírají podobně jako ozubené soukolí. Tento pohyb je vyvozen konstrukcí speciálního obrážecího stroje, která udílí obrobku valivý pohyb. Roztečná kružnice kola(obrobku) se valí po roztečné přímce hřebene. Rozdíl je pouze v tom, že při obrábění není tento pohyb plynulý. K malému pootočení kola a jemu odpovídajícímu posuvu dojde vždy v úvratí smykadla obrážecího stroje, ke kterému je hřeben upevněn. Během samotného zdvihu smykadla odvalovací pohyb neprobíhá. Z toho vyplývá, že obrys obrobené plochy není plynulá evolventa, ale že je složen z mnoha úseček k žádané evolventě tečných. Obrážení ozubení hřebenovým nožem je metoda ne příliš produktivní.



Obr. č. 2.4 – Obrážení hřebenovým nožem [8]

### Obrážení kotoučovým nožem

Obrážení ozubení kotoučovým obrážecím nožem je obdobou obrážení hřebenem. Nástroj má tvar ozubeného kola, na jehož břitech jsou vytvořeny úhly čela a hřbetu. Obrážení kotoučovými noži se uplatňuje pro krátký náběh i výběh při výrobě dvojkol, používá se pro výrobu vnitřního ozubení.

Metodou obrázení kotoučovým nožem je možné vyrábět čelní, šikmé a také šípovitě ozubení. Při tomto způsobu výroby jakoby zabírala dvě ozubená kola bez vůle. Nástroj vykonává přímočarý pohyb ve směru osy a zároveň se při tom otáčí otáčkami  $n_n$ , vyráběné kolo se otáčí otáčkami  $n_o$ .



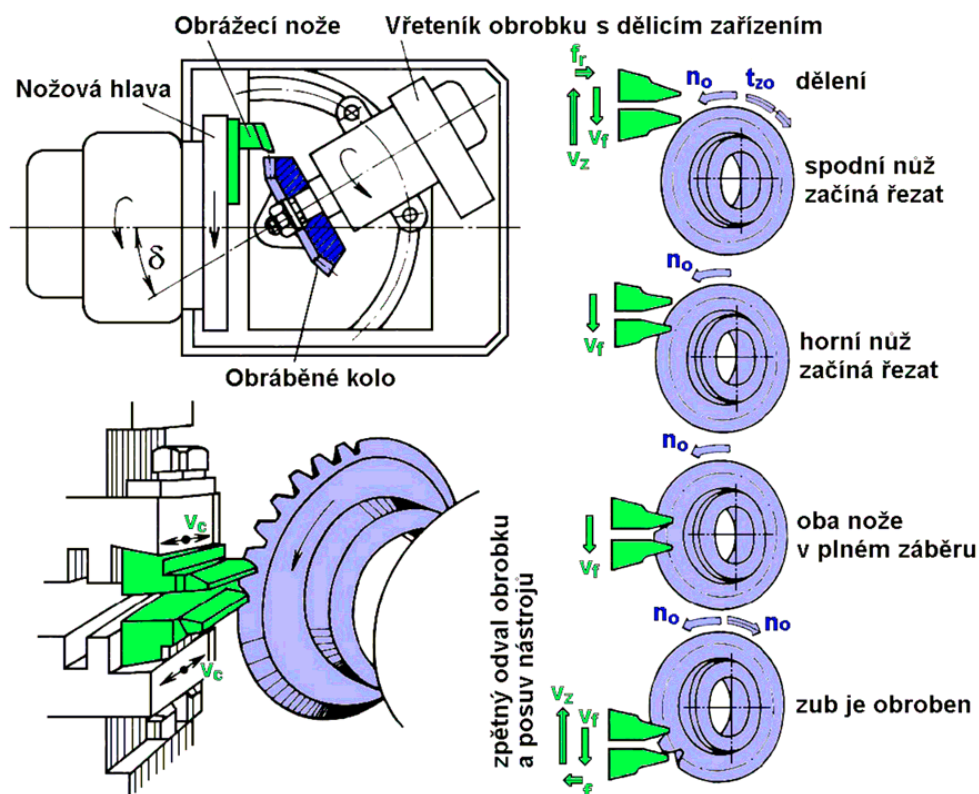
Obr. č 2.5 – Obrážecí kotoučový nůž [9]

Při zpátečním pohybu se nůž odsouvá od kola, aby nedocházelo k odírání zubů. Kolo je tímto způsobem vyrobeno za jednu a čtvrt otáčky. U ozubených kol velkých modulů se ozubení nejprve hrubuje, to znamená, že je potřeba více otáček obrobku. Při výrobě šikmého ozubení, vykonává nástroj v průběhu pracovního pohybu ještě pohyb šroubovitý a musí mít šikmé zuby. Obrázení kotoučovým nožem je metoda produktivnější než nožem hřebenový. Na moderních rychloběžných obrážecích se tato metoda produktivitou blíží metodě odvalovací.

### **Obrázení dvěma noži**

Při obrázení dvěma noži se jedná o způsob výroby ozubení s odvalem boku zubu. Nástroje mají lichoběžníkový profil a konají řezný pohyb ve směru povrchových přímek boků zubů. Touto metodou je možné vyrábět kuželová kola s přímými nebo šikmými zuby. Ostří obrážecích nožů tvoří zubovou mezeru pomyslného základního kola (kuželové ozubené kolo jež má úhel roztečného kužele  $\delta = 90^\circ$ ), s nimž obráběné kolo zabírá.

Podobně jako u čelních kol vyráběných odvalovacím způsobem, kde se vytváří ozubení odvalem roztečného válce kola po roztečné rovině hřebenu, se u kuželových kol roztečný kužel odvaluje po roztečné rovině plochého kola. Ploché kolo je teoretické kuželové kolo s vrcholovým úhlem roztečného kužele  $180^\circ$ .



Obr. č. 2.6 - Princip obrážení dvěma noži [7]

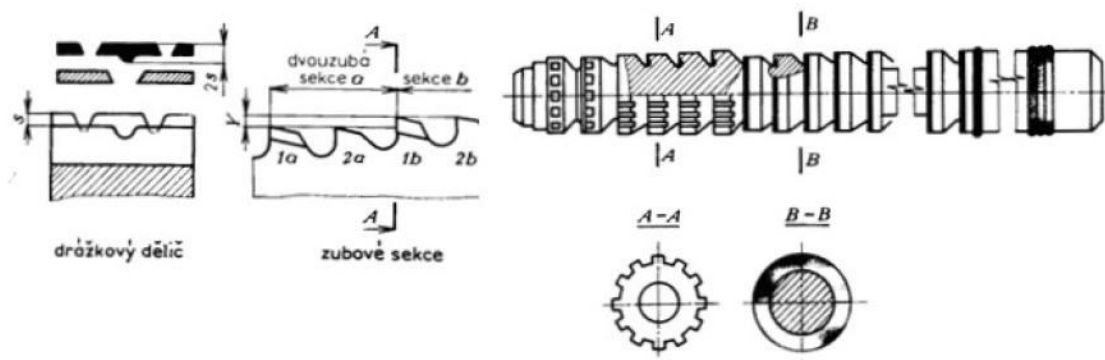
Oba boky jednoho zubu jsou obráženy současně dvěma přímočaře se pohybujícími noži. Tyto nože jsou upnuty v otočné nožové hlavě. Řezný pohyb je ve směru povrchových přímek boků zubů. Boky zubů ve tvaru evolventy se vyrábí jako obálka všech postupných poloh břitů nástrojů. Po obrobení jednoho zubu se nožová hlava vrátí do původní polohy. Dělicím zařízením se kuželové kolo pootočí o jednu rozteč a celá operace se opakuje.

## 2.4 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování jsou velmi výkonné a přesné způsoby využívání k obrábění vnitřního i vnějšího čelního ozubení.

### Protahování

Protahovačka vyvíjí sílu na protahovací trn a provléká jej obvykle předvrtaným nebo předlitým otvorem v obrobku. Odstupňované břity trnu přitom odebírají materiál tak, že se jedním protažením dosáhne požadovaný tvar ozubení. Při protahování dosahujeme přesnosti IT6 až IT8 a drsnosti povrchu  $Ra$  0,1-0,4. Protahovací trn se skládá ze čtyř hlavních částí: upínací, vodící, řezací a kalibrovací.



Obr. č. 2.7 – Konstrukce protahovacího trnu [10]

Nástroje pro protahování jsou cenově velmi nákladné, protože pro každý průměr, modul nebo tvar zubu je potřeba jiný nástroj. Z těchto důvodů se protahování a protlačování využívá zejména ve velkosériové a hromadné výrobě ozubení.

### Protlačování

Pracuje na stejném principu jako protahování. Rozdíl je v tom, že nástroj je do obrobku vtlačován. Protlačovací trn je namáhán na vzpěr a proto je jeho konstrukce kratší.

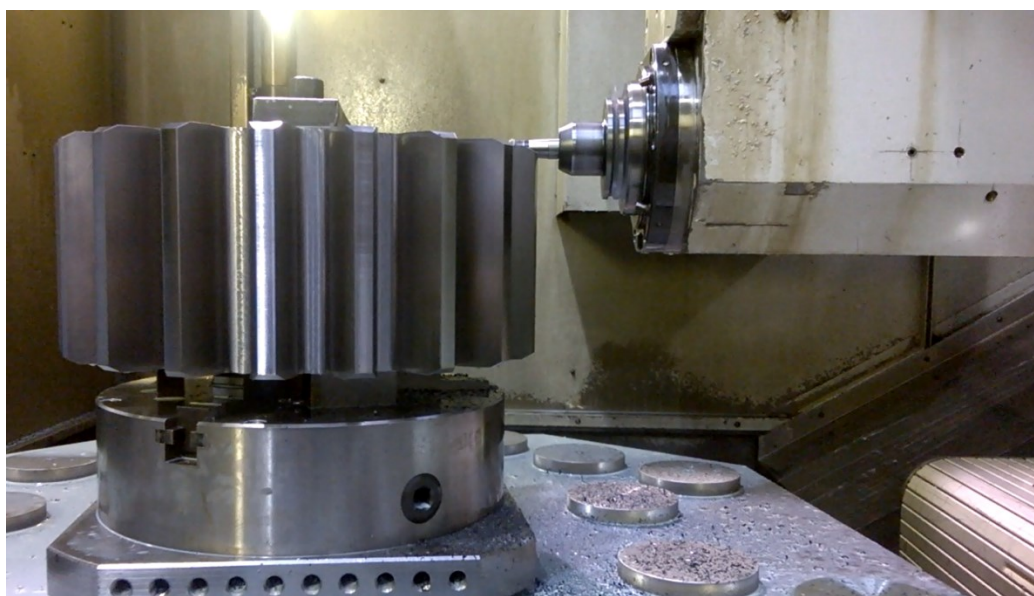
## 2.5 Elektrojiskrové drátové řezání

Obrobek je představován jednou z elektrod, mezi kterými probíhá výboj. Proto musí být z elektricky vodivého materiálu. Druhá elektroda je nástroj a je také vyrobena z vodivého materiálu. Elektrody jsou přiblíženy k sobě, ale nedotýkají se. Vznikne mezi nimi jiskrová mezera. Velikost této mezery (vzdálenost mezi elektrodami potřebná pro vznik výboje) se pohybuje v rozmezí 0,01 až 0,4 mm. Velmi malé, pouhým okem neviditelné mikročástice ve formě dutých kuliček, jsou odebírány z materiálu roztavením a následným odpařením. Tyto částice jsou z mezery mezi elektrodami odplavovány pomocí dielektrické kapaliny.

Tuto metodu výroby ozubení lze využít zejména při kusové výrobě a výrobě nestandardních rozměrů ozubení, kdy na výslednou cenu produktu má velký vliv i cena nástroje pro výrobu, který musí být zhotoven na zakázku. I když výroba ozubení elektrojiskrovým drátovým řezáním není tak produktivní, jako např. odvalovací způsob výroby, díky nulovým nákladům na jinak drahý nástroj, může být ekonomicky výhodná. Tuto technologii lze také použít při výrobě z velmi tvrdých materiálů. Velkou výhodou je vynikající přesnost výroby a dosažená jakost povrchu, lze tedy vynechat dokončovací operace jako je broušení nebo ševingování.

## 2.6 Frézování na víceosých CNC frézovacích centrech

Jedná se v podstatě o dělicí způsob výroby ozubení vhodný zejména pro kusovou výrobu ozubených kol nebo výrobu velmi velkých modulů ozubení, kde pořízení speciálních ozubárenských strojů a nástrojů není, vzhledem k velikosti zakázky nebo ekonomickým možnostem firmy, možné. Modulové frézy jsou zde nahrazeny univerzálními frézami, které odebírají materiál zubové mezery po vrstvách. Přesný tvar zubů je modelován na počítačích v CAD programech nebo speciálním softwaru pro modelování a výpočet ozubení. CAM program pak generuje dráhy nástrojů pro řídicí systém daného CNC stroje.



Obr. č. 2.8 – Frézování ozubení modulu 22 na CNC horizontální frézce

Výhodou tohoto způsobu výroby je jeho univerzálnost. Je možné vyrobit téměř libovolný rozměr ozubení. Jsou využívány standardní frézovací nástroje, které jsou poměrně levné a lze je využít i pro jiné frézovací operace. Výroba i dokončení může být provedeno během jednoho upnutí obrobku ve stroji, nebo může být dokončení provedeno např. po tepelném zpracování. Další výhodou této technologie je vysoká přesnost jak rozměrová, tak i tvarová a vysoká jakost povrchu. Bez zajímavosti nejsou ani možnosti oprav a repase, kdy lze na rozdíl od odvalovacích způsobů obrobek jen jeden nebo několik opravených zubů.

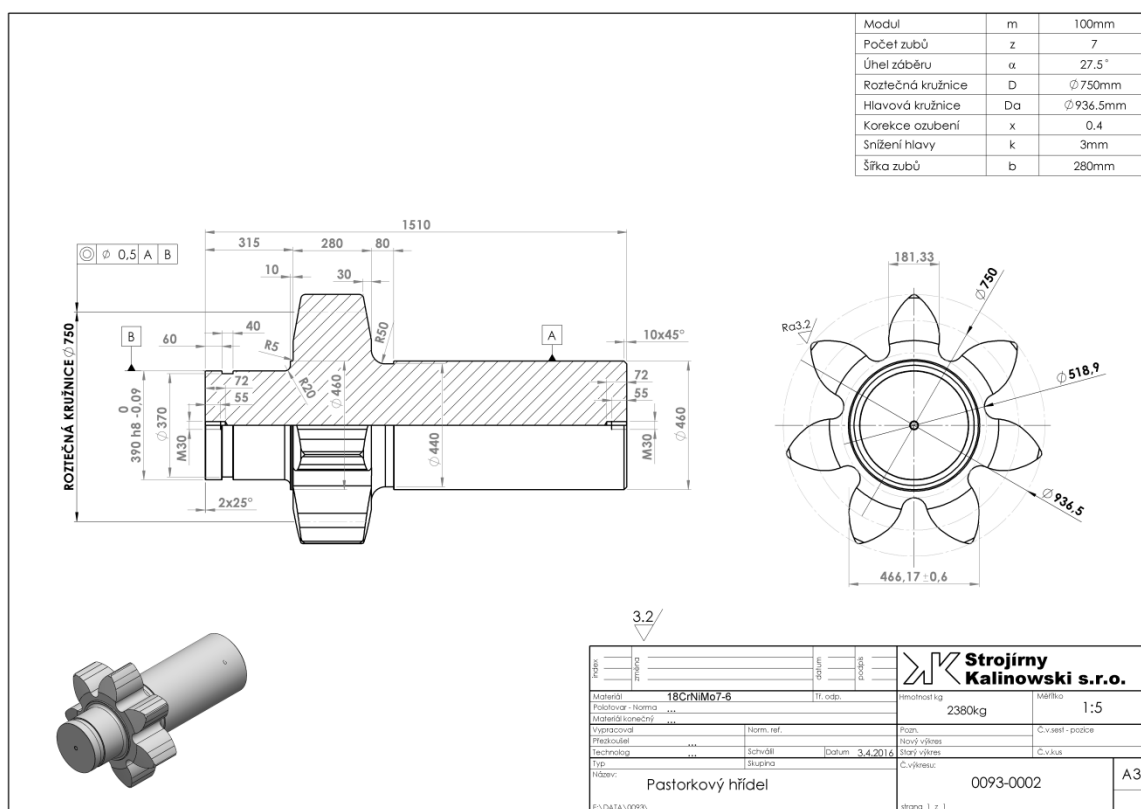
Nevýhodou tohoto způsobu výroby ozubení je nižší produktivita výroby a limitující je i velikost ozubení. U malých modulů ozubení je potřeba malých průměrů nástrojů, aby bylo možné frézovat až do dna zubové mezery. Tato metoda je vhodná pro moduly velikosti 10 a větší.

Výše zmíněné způsoby výroby ozubení mají své výhody i nevýhody a vždy je potřeba brát v úvahu všechny aspekty výroby jak technologické, jako je dostupnost obráběcích strojů a nástrojů, tak i ekonomické, jako je jejich produktivita výroby.

### 3. Návrh technologie výroby pro konkrétní zakázku

V této kapitole bude řešena problematika vhodné technologie výroby zadané součásti. Bude se zabývat tvarem a materiálem součásti, výběrem vhodného obráběcího stroje, návrhem a výrobou upínacího přípravku, výběrem obráběcích nástrojů, vytvořením 3D modelů polotovaru a hotové součásti, programem pro CNC stroj a obráběním. Cílem je výroba požadovaného polotovaru dle dodané výkresové dokumentace, s přídávkem pro dokončení po tepelném zpracování a frézování evolventního ozubení modulu 100. Ozubení bude vyrobeno na čisto, bez přídavků. Výrobní výkres je na obrázku č. 3.1.

Na základě teoretických poznatků z předchozích kapitol a vzhledem k technickým možnostem, byla vybrána technologie pro výrobu ozubení dělicím způsobem. Vzhledem k velikosti ozubení nebude použita modulová fréza, ale materiál zubové mezery bude odebírán standardní frézou po vrstvách. Obrobek bude upnut na střed otočného stolu tak, aby osa otáčení obrobku byla shodná s osou otáčení stolu.



Obr. č. 3.1 – Výkres vyráběné součásti

Na rotačních plochách na obou stranách hřídele musí být ponechány poměrně velké přídávky. To umožnilo, po dohodě se zákazníkem, zhotovit ve spodní části hřídele technologický zápch pro umístění upínek. Vnější průměr u zápichu bude kalibrický a bude sloužit pro zajištění přesného vystředění v přípravku pro upnutí.

Tabulka č. 3.1 – Parametry vyráběného evolventního ozubení

Modul	m	100 mm
Počet zubů	z	7
Šířka zubu	b	280 mm
Úhel záběru	$\alpha$	27°
Korekce	x	25 mm
Snížení hlavy	k	3 mm

### 3.1 Materiál součásti

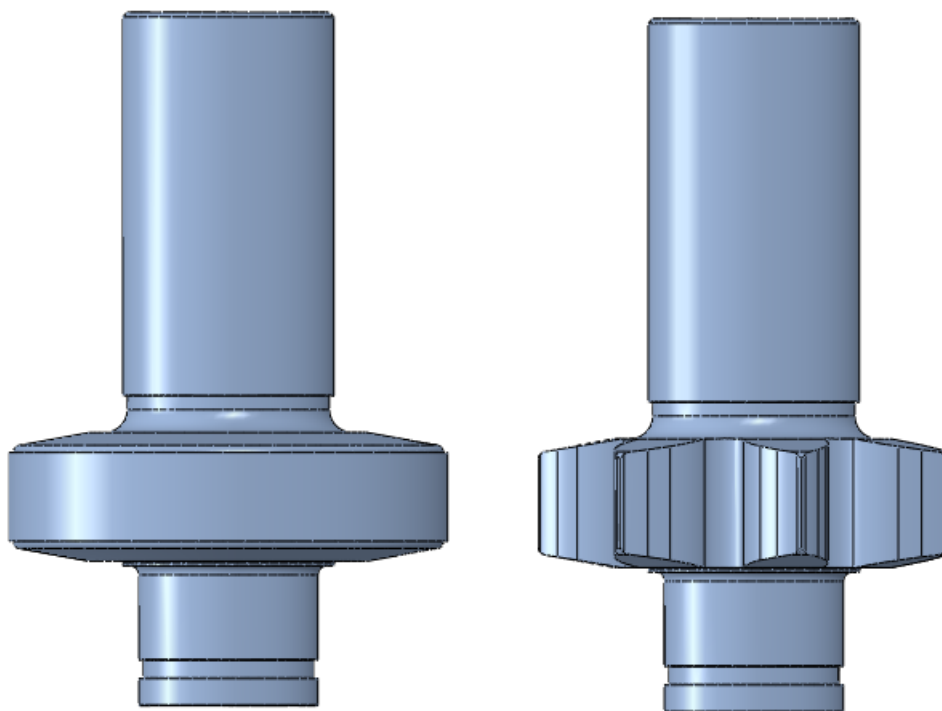
Materiál obrobku součásti je výkovek z oceli 18CrNiMo7-6 dle EN 10084. Jde o vakuovanou ocel se stupněm předkování 3:1. Je to materiál pro velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem. Cementovaná vrstva po tepelném zpracování dosahuje na povrchu tvrdosti 62 až 64 HRC, zatímco jádro je i při relativně vysoké pevnosti značně houževnaté. Přísada molybdenu zvyšuje prokalitelnost. Ocel prokaluje do hloubky přibližně 60 mm. Je vhodná pro dynamicky namáhané součásti. Obrobitelnost materiálu je dobrá. Mechanické vlastnosti materiálu obrobku po tepelném zpracování jsou uvedeny v tabulce č.2.

Tabulka č.3.2 – Mechanické vlastnosti obráběného materiálu

Mez kluzu	$R_e$	min. 750 MPa
Mez pevnosti v tahu	$R_m$	min. 900 MPa
Tažnost	A	min 12 %
Kontrakce	Z	min. 30 %
Rázová zkouška Charpy V - podélně při -10 °C	KV	min. 27 J
Rázová zkouška Charpy V - tangenciální při -10 °C	KV	min. 20 J

### 3.2 Vytvoření 3D modelů

Model součásti byl vytvořen v CAD programu Solidworks 2013. Vytvoření modelu polotovaru i hotové součásti má řadu výhod. Kromě toho, že jsou nezbytné pro tvorbu CNC programu v CAM, najdou uplatnění i při konstrukci přípravku pro upínání. Při návrhu na počítači, je možné ověření funkčnosti sestavy stroj-přípravek-obrobek, ještě před zahájením výroby a lze tak předejít řadě problémů. Model lze využít pro přesné stanovení hmotnosti součástí nebo celých sestav.



Obr. č 3.2 – 3D modely polotovaru a hotové součásti vytvořené v Solidworks 2013

### 3.3 Výběr stroje

Jako vhodný typ výrobního zařízení pro vybranou technologii výroby zadaného evolventního ozubení se jeví horizontální frézka s otočným stolem. Vzhledem k rozměrům, tvarové náročnosti a hmotnosti vyráběné součásti, musí zvolený stroj splňovat následující kritéria:

- Dostatečný rozjezd os
- Plynule otočný stůl
- Nosnost stolu nejméně 3500 kg

K těmto třem základním kritériím lze ještě přidat další doplňující, které mají rozhodující vliv na produktivitu výroby, neboť objem odebíraného materiálu bude dosti značný:

- Výkon na hlavním vřetenu
- Rychlost posuvů a rychloposuvů
- Tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek
- Vhodné zakrytování pracovního prostoru.

Ze strojního parku firmy Kalinowski s.r.o. se podařilo vybrat tři stroje, které splňují výše popsaná kritéria.



### **TOS Warnsdorf WRD-130 Q**

Jako první volba se jeví desková vyvrtávačka WRD 130 Q určená pro přesné a vysoce produktivní souřadnicové vrtání, vyvrtávání, frézování a řezání závitů, zejména prostorově členitých obrobků velkých rozměrů a hmotností z oceli, litiny a ocelolitiny. Disponuje automatickou výměnou nástrojů. Velkou výhodou tohoto stroje je jeho vysoká tuhost a velký výkon hlavního vřetene.



Obr. č. 3.3 – Horizontální frézka WRD 130Q

Nevýhodou jsou velké rozměry otočného stolu 2000x2500mm. Při upínání obrobku na střed tohoto stolu, by nástroje, aby se dostaly až k obrobku, musely být upnuty na velmi dlouhých upínacích trnech nebo by muselo dojít k velkému vysunutí pinoly. Oba způsoby snižují tuhost a zabraňují maximálnímu využití výkonu stroje. Vzhledem k pořizovací ceně a provozním nákladům, je i hodinová sazba tohoto stroje téměř dvakrát vyšší než u dalších obráběcích strojů vhodných pro zvolenou technologii obrábění, to lze považovat také za nevýhodu. Navíc není zakrytován pracovní prostor stroje.

Tabulka č. 3.3 – Parametry stroje WRD 130Q

<b>Druh stroje</b>	Horizontální centrum
<b>Výrobce</b>	TOS Warnsdorf
<b>Typ</b>	WRD 130 Q
<b>Počet os</b>	6
<b>Velikost pracovního prostoru</b>	10000x3000x800
<b>Maximální zatížení stolu</b>	16000 kg
<b>Výkon</b>	32 kW
<b>Rozsah otáček</b>	20-3000 min-1
<b>Pracovní posuv</b>	0-4000 mm/min
<b>Rychloposuv</b>	10 m/min
<b>Řídící systém</b>	Heidenhaim 530
<b>Velikost stolu</b>	2500 x 2000mm

### Kekeisen VFB 1200

Horizontálně-vertikální 4-osé frézovací centrum s plynule řízeným otočným stolem a výklopným vřetenem, které umožňuje obrábět ve vertikálním i horizontálním směru. Disponuje automatickou výměnou nástrojů se zásobníkem na 50 pozic. Je vybaveno paletovým systémem pro snadnou výměnu segmentů upínacího stolu.



Obr. č. 3.4 - Frézovací centrum Kekeisen VFB1200

Výhodou tohoto stroje je velký rozsah otáček vřetena a rychlost posuvů. Výhodou je také uzavřený pracovní prostor, protože při použité technologii obrábění odlétá velké množství horkých třísek.

Tabulka č. 3.4 – parametry stroje Kekeisen VFB1200

<b>Druh stroje</b>	Horizontálně vertikální frézovací centrum
<b>Výrobce</b>	KEKEISEN GmbH & Co.KG
<b>Typ</b>	VFB 1200
<b>Počet os</b>	4+1
<b>Velikost pracovního prostoru</b>	1200x650x800
<b>Maximální zatížení stolu</b>	5000 kg
<b>Výkon</b>	22 kW
<b>Rozsah otáček</b>	20-7300 min-1
<b>Pracovní posuv</b>	0-8000 mm/min
<b>Rychloposuv</b>	20 m/min
<b>Velikost stolu</b>	1300x1300mm
<b>Řídící systém</b>	Heidenhaim 430

### WHN9 CNC

Horizontální frézka WH9 CNC je modernizovaná, původně klasická horizontální frézka, Doplněná o řídicí systém firmy Mefi. Nevýhodou tohoto stroje je ruční výměna nástrojů a nemožnost zcela zakrýt pracovní prostor stroje a zabránit tak odletujícím horkým třískám. Také disponuje poměrně malým rozsahem otáček vřetena a malou rychlostí posuvů, což je, vzhledem ke zvolené strategii obrábění, výrazné omezení.



Obr. č 3.5 - Horizontální vyvrtávačka TOS WHN9 CNC

Tabulka č. 3.5 – Parametry stroje TOS WHN 9 CNC

<b>Druh stroje</b>	Horizontální centrum
<b>Výrobce</b>	TOS Warnsdorf
<b>Typ</b>	WHN 9 CNC
<b>Počet os</b>	4
<b>Velikost pracovního prostoru</b>	1260x800x600
<b>Maximální zatížení stolu</b>	4000 kg
<b>Výkon</b>	24 kW
<b>Rozsah otáček</b>	50-1400 min <sup>-1</sup>
<b>Pracovní posuv</b>	0-2200 mm/min
<b>Rychloposuv</b>	6 m/min
<b>Řídící systém</b>	Mefi

Výběr vhodného stroje byl proveden podle několika kritérií. Prvním jsou technologické možnosti strojů. Z tohoto pohledu vyhovují stroje WRD 130Q a Kekeisen VFB1200. Horizontální frézka WHN 9 v tomto hodnocení nevyhovuje zejména pro nízké maximální otáčky včetně a nízkou rychlost posuvu. Pro frézování vysokým posuvem jsou nedostatečné.

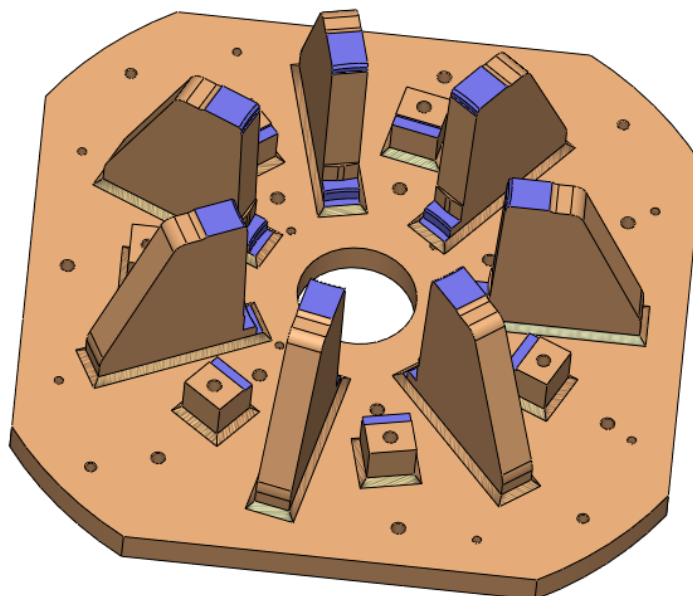
Druhým důležitým aspektem je ekonomická stránka. Pro stroj WRD 130Q je počítáno se sazbou 1500 Kč/hod. zatímco pro Kekeisen VFB1200 je to 900 Kč/hod. Protože na obou strojích bude použita stejná technologie obrábění, lze očekávat také podobný čas potřebný k výrobě součástí. To znamená, že na stroji s nižší hodinovou sazbou bude výroba stejné součásti o více než jednu třetinu levnější.

Dalším aspektem při rozhodování je kapacitní vytíženost strojů. Výrobní kapacita horizontální frézky WRD 130Q je na požadované období téměř zaplněna jinými zakázkami, volná kapacita VFB1200 je dostatečná ke splnění požadavků zákazníka na výrobu dvou kusů pastorkového hřídele týdně.

Po posouzení výše uvedených důvodů bylo pro výrobu součástí vybráno frézovací centrum Kekeisen VFB1200.

### 3.4 Vytvoření přípravku pro upínání

Aby bylo možné pastorkový hřídel upnout a přesně vystředit na stole obráběcího centra, je zapotřebí navrhnout a vyrobit upínací přípravek. Důležitým předpokladem při navrhování přípravku bylo bezpečné a spolehlivé upnutí obrobku a snadné vkládání i vyjímání obrobku z přípravku. Dalším důležitým kritériem je snadná a přesná opakovaná instalace přípravku na upínací stůl stroje.



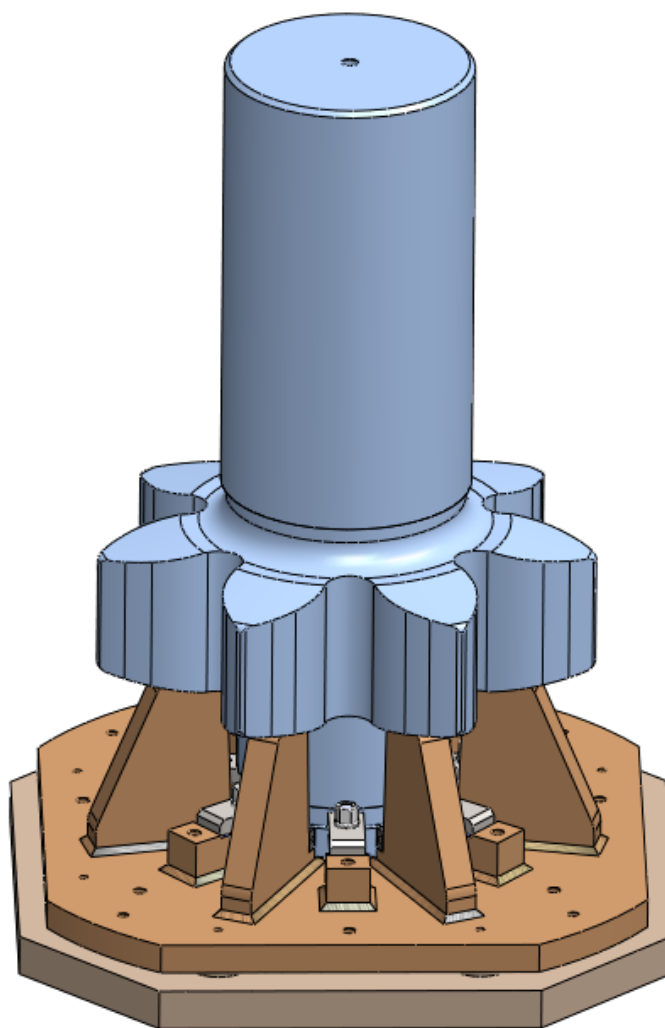
Obr. č. 3.6 – Upínací přípravek

Vzhledem k velikosti a složitosti přípravku, byla zvolena svařovaná konstrukce. Základ tvoří deska z ocelového plechu velikosti 1100x1100mm a šířky 60mm. Na ni bylo navařeno 7 žeber širokých také 60mm, rozdělených tak, aby pod každým zubem bylo jedno podpěrné žebro. Horní plocha žeber slouží jako dosedací a upínací plocha dílce. Mezi žebry byly dále navařeny kostky rozměru 80x80mm, sloužící jako opěrka pro úpinky. Po přesném ustavení všech součástí do požadované polohy a přivaření koutovými svary, následovalo žíhání k odstranění pnutí, aby nedocházelo během používání k deformacím způsobeným zbytkovým napětím v oblastech svarů. Po této tepelné úpravě je frézována spodní plocha a vrtány otvory v přesných roztečích pro montáž upínacích segmentů do hydraulického upínacího systému umístěného ve stole stroje. Následuje montáž přípravku na upínací stůl stroje a jeho další opracování na stroji, z důvodu zajištění maximální geometrické přesnosti. Jsou obrobena čelní horní plochy, kalibrický otvor ve spodní části přípravku sloužící k vystředění obrobku a šikmé plochy pro segmenty bránící pootočení dílce.

Dílec je v přípravku umístěn tak, že pod každým zubem je jedno žebro. V místě zubové mezery je volný prostor, aby mohly obráběcí nástroje přejíždět přes okraj obrobku a nehrozila kolize s přípravkem.

Hmotnost kompletního přípravku byla určena v programu Solidworks na 720kg. Tato informace je důležitá, neboť součet hmotností přípravku a obrobku nesmí překročit nosnost otočného stolu. Ta je v případě vybraného stroje 5000kg. Hmotnost dílce před obrobením je 2900kg, společně s přípravkem je tedy hmotnost sestavy 3620kg a nosnost stolu nebude překročena.





Obr. č. 3.7 - Přípravek s upnutou a obrobenou součástí

### 3.5 Postup výroby a výběr vhodných nástrojů

Před frézováním evolventního ozubení, musí být zařazena operace soustružení. Při ní je upraven polotovar podle požadavků zákazníka a je zhotoven přesný průměr pro středění součásti v upínacím přípravku a technologický zápich pro upnutí dílu.

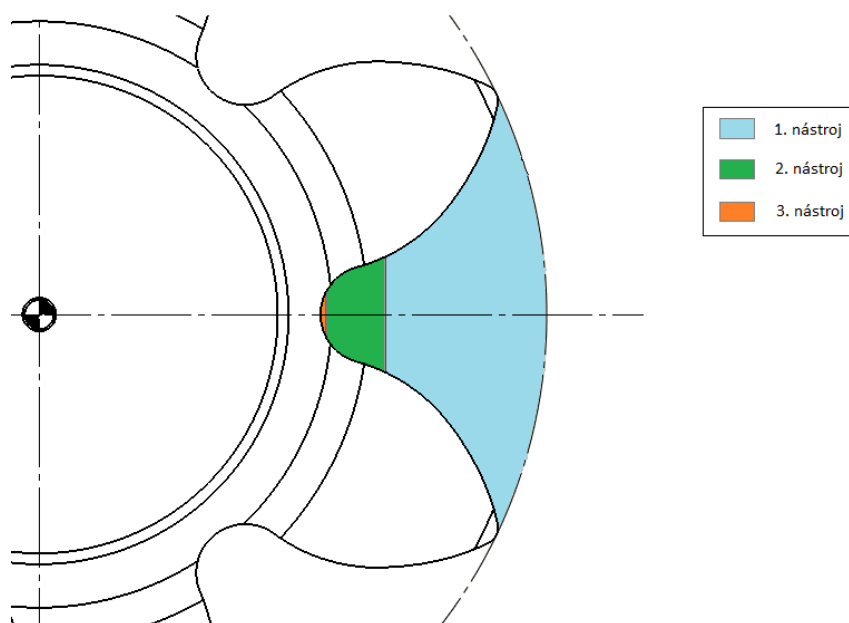
Obrábění ozubení bude probíhat postupně po jednotlivých zubových mezerách. Obrobek upnutý a zjištěný v přípravku bude natočen do požadované polohy. Proběhne obrobení zubové mezery nahrubo s přídavkem na dokončení na stěnách a dně 0,5mm. Pak následuje pootočení obrobku o přesnou úhlovou rozteč a obrábění další části ozubení. Nejprve bude provedeno vyhrubování všech zubů a teprve pak jejich dokončení.

Při výběru frézovacích nástrojů se vychází z mechanických vlastností obráběného materiálu, velikosti obrobku, přístupnosti obráběných ploch, požadované jakosti obrobeného povrchu a výkonu stroje. Typ a rozměr frézy se volí podle velikosti a tvaru obráběné plochy.

## Hrubování

Cílem hrubovacích operací je odebrání co největšího objemu materiálu za co možná nejkratší čas. Jako obráběcí strategie pro hrubovací operace, bylo zvoleno frézování vysokým posuvem, označované zkratkou HFC. Při tomto způsobu frézování je materiál odebrán po malých hloubkách řezu, ale velmi rychlými posuvy nástroje. Tyto řezné podmínky vedou k rychlejšímu odběru materiálu při nízkém vývinu tepla, menších řezných silách a nižší potřebě výkonu stroje. Řezná geometrie nástroje, spolu s malou hloubkou řezu, způsobuje, že řezné síly působí na vřeteno stroje v axiálním směru. To znamená větší stabilitu a zmenšení vibrací a tím pádem i prodlouženou životnost nástroje i stroje. Tímto způsobem obrábění lze dosáhnout velmi velkého úběru materiálu a tím výrazného zkrácení času potřebného k výrobě. Touto metodou je možné frézovat jak rovinné plochy, tak i kapsy a plochy tvarově složité.

Materiál zubové mezery bude odebrán postupně od hlavové kružnice směrem k ose obrobku až po dno. Profil zubové mezery je nejširší na hlavové kružnici a postupně se zužuje. Aby bylo zajištěno co nejproduktivnější obrábění budou použity tři hrubovací nástroje různých průměrů. První, nejširší část bude obráběna frézou průměru 80mm. V druhé, prostřední části, bude použit nástroj s průměrem 32mm. Třetí část, dno zubové mezery, bude vyhrubována nástrojem průměru 20mm.



Obr. č. 3.8 – Rozdělení hloubek pro hrubovací nástroje

Z obrázku č. 3.8 je patrné, že největší objem materiálu bude při hrubování odebrat první nástroj. Naopak nejmenší objem bude odebrat nástroj tři, na dně rádiusu, v patě zubu. Po hrubování bude ponechán přídavek na dokončení. Tloušťka přídavku na stěnách a dně zubové mezery je 0,5mm. Tento přídavek zajišťuje dostatek materiálu pro dokončení.

## Nástroje pro hrubování

### Fréza Dijet SKS-6080R-08-27

Hrubovací fréza pro frézování vysokými posuvy. Průměr nástroje je 80mm. Upnutí vyměnitelné břitové destičky v tělese nástroje je zajištěno kombinací šroubu se závitem M4 a úpinky. Aby nedocházelo k otláčování lůžka břitové destičky, je pod ní vložena podložka ze slinutého karbidu. Nástroj je upnut na upínacím trnu délky 100mm.


Tabulka č. 3.6 – Hrubovací fréza D80mm

Dijet SKS-6080R-08-27			
	Průměr frézy	80	mm
	Počet břitů	6	
	Označení VBD	WDMW080520	ZTR
	Jakost VBD	JC5040	
	Řezná rychlost	180	m/min.
	Otáčky	720	1/min.
	Hloubka třísky $a_p$	1,1	mm
	Posuv na zub $f_z$	1,1	mm/ot.
	Posuv za minutu	4750	mm/min.

### Fréza Dijet D32 MQX6032-M16

Hrubovací fréza pro HFC obrábění se závitem M16. Tento systém upínání umožňuje sestavit upínací trn potřebné délky pomocí prodloužení různých délek.

Tabulka č. 3.7 – Hrubovací fréza D32mm

Dijet D32 MQX6032-M16			
	Průměr frézy	32	mm
	Počet břitů	6	
	Označení VBD	EPMT1003	12 ZER
	Jakost VBD	JC8050	
	Řezná rychlost	190	m/min.
	Otáčky	1900	1/min
	Hloubka třísky $a_p$	0,8	mm
	Posuv na zub $f_z$	0,65	mm
	Posuv za minutu	7600	mm



### Fréza Dijet D20 SKS2020-50-S20

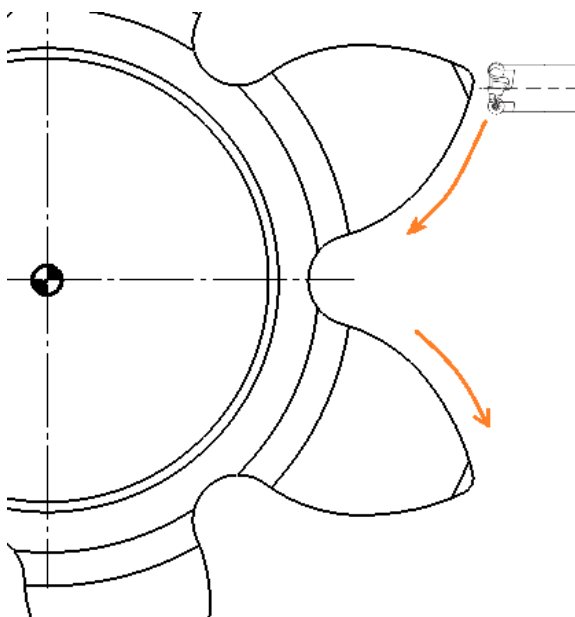
Třetím hrubovacím nástrojem byla vybrána fréza průměru 20mm. Jedná se o dvoubřitý nástroj pro frézování vysokým posuvem. Fréza je upnuta v nástrojovém držáku typu Weldon.

Tabulka č. 3.8 – Hrubovací fréza D20mm

Dijet SKS2020-50-S20			
	Průměr frézy	20	mm
	Počet břitů	2	
	Označení VBD	WDMW0505ZTR	
	Jakost VBD	JC8050	
	Řezná rychlost	180	m/min.
	Otáčky	3000	1/min.
	Hloubka třísky $a_p$	0,65	mm
	Posuv na zub $f_z$	0,6	mm
	Posuv za minutu	1800	mm/min.

### Dokončení

Hlavním úkolem dokončovacích operací je vytvoření přesného tvaru a rozměru součásti s předepsanou kvalitou povrchu. Kromě toho je ještě nutné vyhovět požadavku zákazníka, aby stopy po nástroji na povrchu obrobku směřovaly tak, jak je naznačeno na obrázku č. 3.8.



Obr. č. 3.8 - Směr pohybu nástroje při dokončovací operaci

Stejně jako hrubovací operace bude i dokončení součásti rozděleno pro více nástrojů, aby bylo dosaženo maximální produktivity výroby. Zubová mezera je v tomto případě


rozdělena na dvě hloubky. První část je obráběna frézou průměru 50mm, obrábí se plocha evolventy až pod průměr patní kružnice. Druhý dokončovací nástroj je rádiusová fréza R8 které dokončuje dno zubové mezery. Z důvodu použití dvou nástrojů vznikne napojení dvou obráběných ploch. Toto napojení je až pod průměrem patní kružnice, tedy v místě, kde už nedochází k odvalování dvou zubů po sobě. Po dokončení strojního obrábění je navíc mechanicky zaleštěn.

### Nástroje pro dokončení

#### Fréza D50 Dijet HDM-5050-12R-22

Dokončovací fréza průměru 50mm a s kruhovými břitovými destičkami s radiusem R6.

Tabulka č. 3.9 – Dokončovací fréza D50mm

Dijet HDM-5050-12R-22			
	Průměr frézy	50	mm
	Počet břitů	5	
	Označení VBD	RDMW1204 MOT	
	Jakost VBD	JC8015	
	Řezná rychlost	200	m.min <sup>-1</sup>
	Otáčky	1270	min <sup>-1</sup>
	Hloubka třísky $a_p$	0.4	mm
	Posuv na zub $f_z$	0.3	mm
	Posuv za minutu	1905	mm/min.

#### Fréza D16 Dijet MBN 160-M8-H

Dokončovací fréza průměru 16mm s radiusem 8mm.

Tabulka č. 3.10 - Dokončovací fréza D16 R8

Dijet MBN 160-M8-H			
	Průměr frézy	16	mm
	Počet břitů	2	
	Označení VBD	BNM-160-T6	
	Jakost VBD	JC6102	
	Řezná rychlost	90	m/min.
	Otáčky	3000	1/min
	Hloubka třísky $a_p$	0,5	mm
	Posuv na zub $f_z$	0,225	mm
	Posuv za minutu	1350	mm/min.

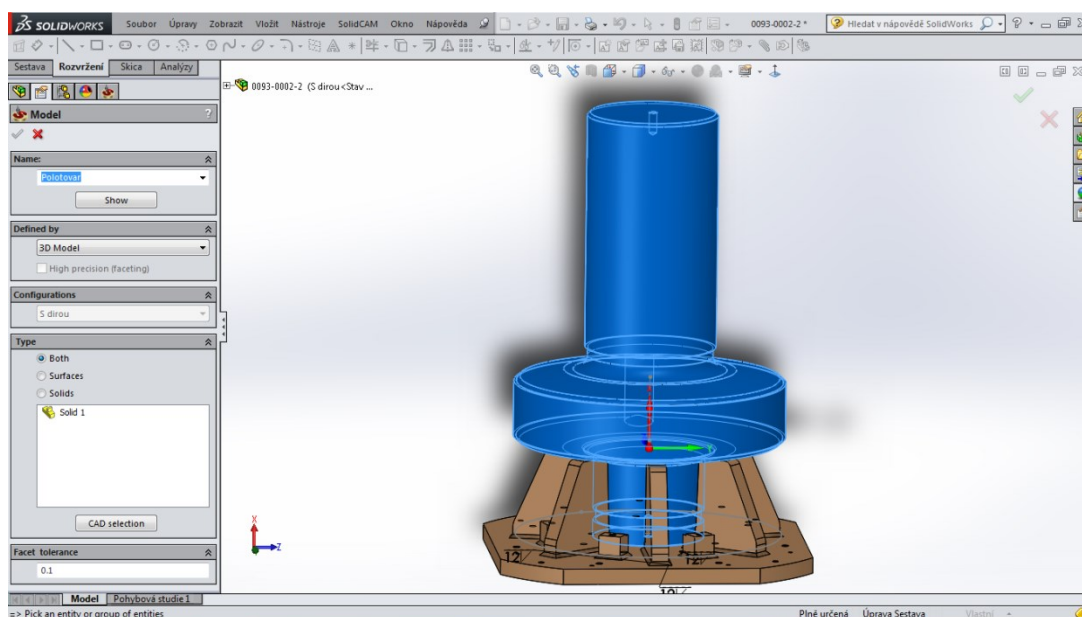
### 3.6 Vytvoření programu pro obrábění v CAD/CAM

CAD/CAM je komplexní multifunkční systém zahrnující aplikace z oblasti CAD i CAM. Použitím jednotlivých částí CAD/CAM systému je zajištěna počítačová podpora výrobku od návrhu, přes simulaci obrábění až po vlastní generování řídicích NC dat pro CNC obráběcí stroje. Hlavním přínosem těchto systémů je zproduktivnění práce při vývoji a výrobě nových výrobků.

Program pro CNC obráběcí stroj byl vytvořen v programu SolidCAM. SolidCAM je integrovaný v prostředí CAD systému SolidWorks. Funkce pro vytvoření obráběcích operací jsou integrovány v grafickém prostředí SolidWorks. Všechny úkony spojené s ovládáním 3D modelu dílu nebo sestavy jsou řešeny nástroji a funkcemi SolidWorks. To má výhodu, pokud je nutné provést úpravu tvaru obrobku. Tu lze provést přímo v prostředí programu Solidworks a veškeré změny se projeví ihned i změnou drah pro nástroj v NC programu. Další výhodou programování v CAM je několik módů simulace. Tou lze provést detailní kontrolu drah nástroje, nebo spustit objemovou simulaci, kdy program kontroluje kolize nástroje, nebo nástrojového držáku s obrobkem i upínacím přípravkem.

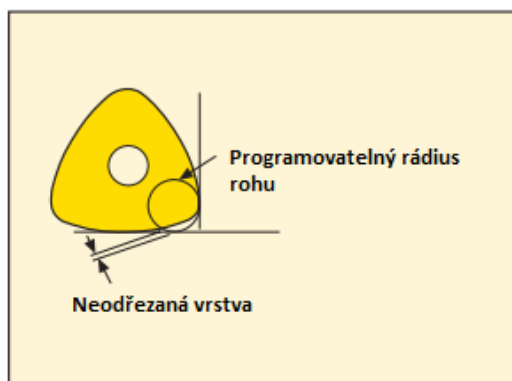
Pro vytváření programu v SolidCAMu je možné použít model celé sestavy obrobku a upínacího přípravku, který byl vymodelován při návrhu tohoto přípravku. Po vytvoření nového projektu je nejdříve nutné zvolit nulový bod. To lze provést několika způsoby. V tomto případě je nulový bod zvolen v ose rotace obrobku, výškově pak na spodní dosedací ploše přípravku. Od tohoto bodu budou vycházet veškeré souřadnice v NC programu.

Dalším krokem je výběr 3D modelu pro polotovar a hotovou součást. V Solidworks to je možné pomocí jediného modelu, který obsahuje konfigurace polotovaru i hotové součásti.



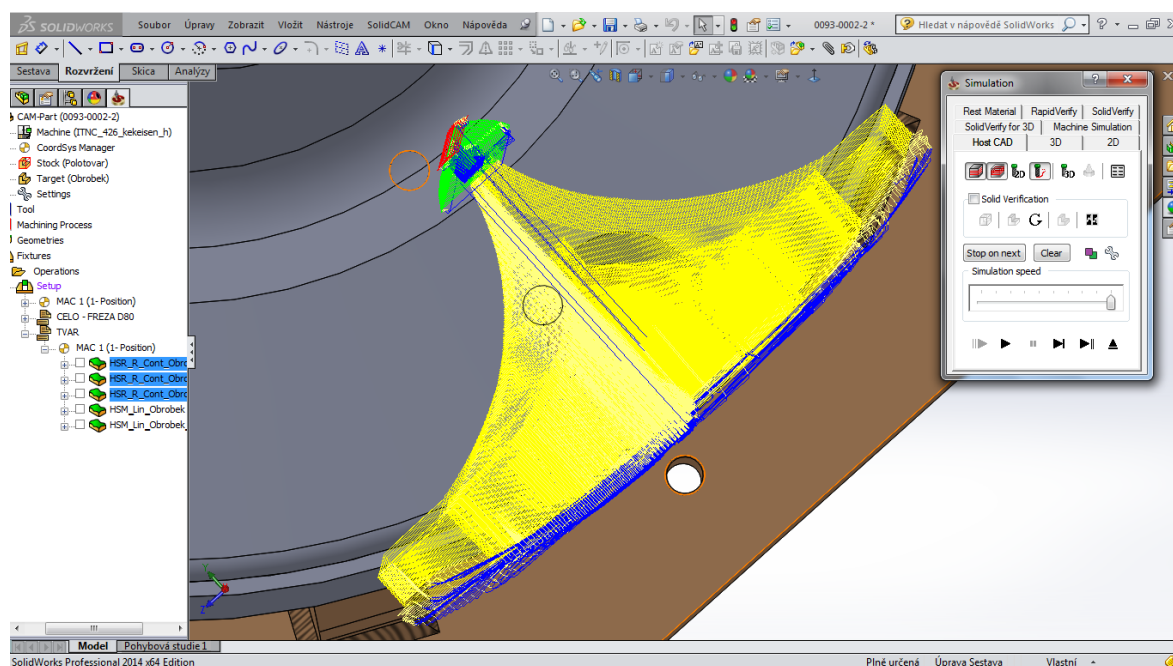
Obr. č 1.9 - Výběr modelu pro polotovar v prostředí SolidCAMu

Následuje výběr obráběcí operace pro hrubování zubové mezery. V tomto případě byl zvolen modul s názvem HSR pro 3D hrubování. V rámci této operace je nutné vybrat nástroj pro obrábění, řezné podmínky a hranice ve kterých bude obrábění probíhat. Pozornost je potřeba věnovat zadání správného rohového rádiu břitové destičky. Protože břitové destičky pro frézování vysokými posuvy nemají jednoduché zaoblení rohu, výrobce uvádí pro každý typ destičky tzv. programovatelný rádius rohu, aby obrobená plocha měla požadovaný tvar.



Obr. č 3.10 – Rozdíl mezi skutečným a programovaným tvarem VBD [11]

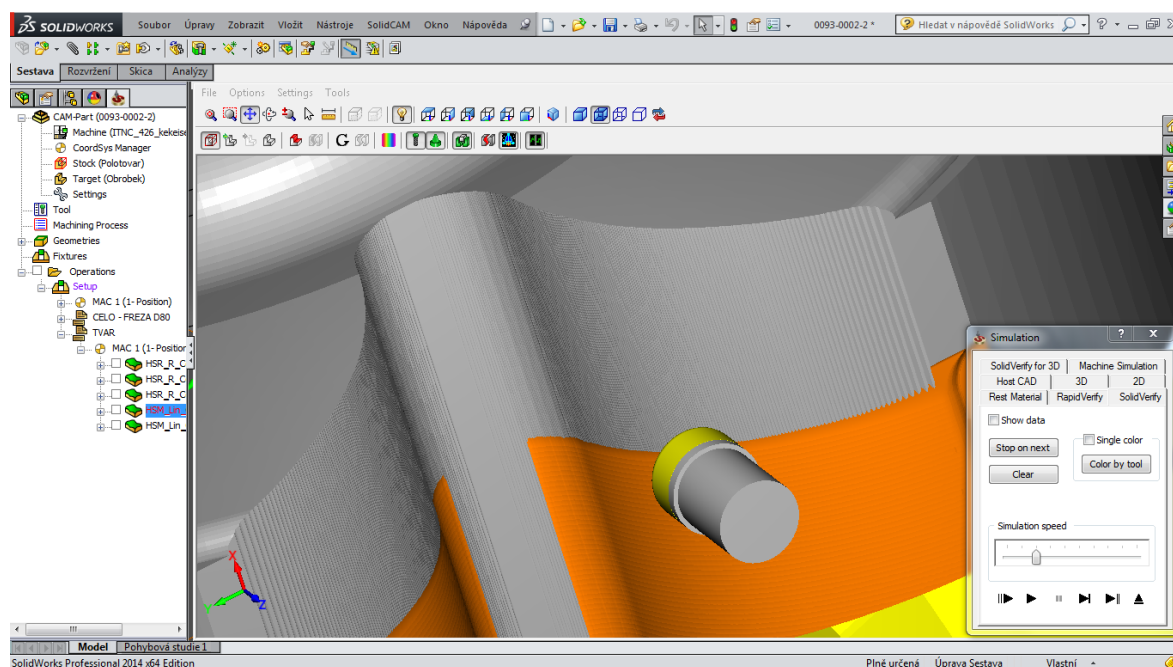
Po zadání všech parametrů je možné aby SolidCAM vypočítal dráhy obráběcího nástroje. Tyto můžeme zkontrolovat pomocí funkce simulace. Zde lze zvolit několik druhů simulace. Pro zobrazení drah nástroje a kontrolu přejezdů je vhodná HostCAD simulace, pro kontrolu objemů a možných kolizí nástrojů s obrobkem, nebo upínáči je vhodná simulace s názvem SolidVerify.



Obr. č 3.11 – Simulace HostCAD zobrazuje dráhy pro tři hrubovací nástroje

Tento postup je použit pro všechny tři hrubovací operace, pouze se mění typy nástrojů a použité řezné podmínky.

Pro dokončovací operace je zvolen 3D modul s názvem HSM. Stejně jako u hrubovacích operací se i tady se musí zadat obráběcí nástroj, hranice obrábění a řezné podmínky. V rámci modulu HSM je možné vybírat z několika obráběcích strategií. Zde bylo vybráno řádkování s krokem 1,5mm pro první nástroj a 0,75mm pro nástroj druhý, který dokončuje dno zubové mezery.



Obr. č 3.12 – Objemová simulace SolidVerify při dokončovací operaci

Následuje výpočet drah nástrojů a jejich kontrola pomocí simulace. Pokud je vše v pořádku může být generován program pro CNC stroj. Pomocí postprocesoru jsou dráhy převedeny na příkazy pro daný typ řídicího systému. V tomto případě je to systém Heidenhain TNC430. Po zavedení programu do paměti CNC stroje může být přikročeno k obrábění.

### 3.7 Výroba

Před začátkem výroby musí být na otočný stůl stroje připevněn upínací přípravek a zkontrolováno jeho upnutí. Do přípravku je pak umístěn polotovaz obrobku a zafixován pomocí upínek tak, aby nemohlo dojít k jeho uvolnění nebo posunutí. Pomocí číselníkového úchylkoměru je při otáčení otočným stolem kontrolována házivost průměrů vůči ose rotace.

Prvním hrubovacím nástrojem je fréza s průměrem 80mm. Tento nástroj odebírá největší objem materiálu a velmi se při tom zahřívá. Přesto frézování probíhá bez chlazení, protože se potvrdilo doporučení výrobce, obrábět tímto nástrojem bez použití chladicí kapaliny. Pokud nebyla použita chladicí kapalina, zvýšila se životnost břitových destiček přibližně o 30% v porovnání s destičkami chlazenými vodní emulzí.

Z důvodu jednostranného zahřívání a tepelného roztahování materiálu obrobku i upínacího přípravku v místě frézování, dochází při jednostranném zahřátí k vychýlení dílce z osy rotace až o 0,5mm. Proto musí probíhat frézování tak, aby byly obráběny po sobě vždy dvě protilehlé zubové mezery. Po vyhrubování poslední zubové mezery musí proběhnout ochlazení obrobku proudem chladicí kapaliny po dobu nejméně 15 minut. Po ochlazení se výchylka od osy otáčení pohybuje v rozmezí hodnot 0,05-0,15mm. Pak teprve mohou následovat dokončovací operace. Po dobu hrubování je také potřeba odstraňovat třísky, aby se nehromadily na horní straně přípravku a nedocházelo k přenosu tepla do přípravku.



Obr. č 3.13 – Dokončování zubové mezery

Při dokončování je ke zvýšení trvanlivosti břitů naopak chlazení nástrojů vyžadováno. Při obrábění proběhlo měření výrobních i přípravných časů a měření trvanlivosti břitových destiček. Vyhodnocení těchto měření se věnuje následující kapitola.



## 4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Na základě poznatků získaných při výrobě, je možné provést vyhodnocení. To bude provedeno ze dvou hledisek. Prvním je úroveň technického zpracování výrobku, druhým hlediskem je ekonomická stránka výroby.

### 4.1 Technické parametry výrobku

Aby nemohlo dojít ke sporům o kvalitu, musí výrobek po všech stránkách splňovat požadavky zákazníka dané výkresovou dokumentací. V případě ozubení byl především kladen důraz na rozměrovou přesnost, drsnost povrchu a geometrické odchylky tvaru a polohy.

Při měření rozměrů ozubení je pozornost soustředěna na dodržení rozměru přes dva zuby  $466,17 \pm 0,6\text{mm}$  a šířky jednoho zubu  $181,33\text{mm}$ . Tyto rozměry jsou měřeny digitálním posuvným měřidlem na všech zubech. Také je nutné kontrolovat přesnou rozteč jednotlivých zubů.

Drsnost povrchů na ozubení byla měřena digitálním přístrojem na měření drsnosti firmy Mitutoyo Surftest SJ-210. Zákazníkem byla požadována drsnost povrchu maximálně  $R_a 3,2\mu\text{m}$ . Měření je prováděno na plochách zubů jak v příčném tak v podélném směru. Maximální naměřená drsnost povrchu byla  $R_a 2,9\mu\text{m}$ . Pozornost musí být věnována přechodu ploch obráběných různými nástroji. Pokud je přechod výraznější, např. z důvodu opotřebení jednoho z nástrojů, musí být ručně zaleštěn bruskou s jemným leštícím kotoučem.



Obr. č 4.1 – Drsnoměr Mitutoyo SJ-210

Předepsaná soustřednost ozubení s průměry označenými A a B do  $0,5\text{mm}$  byla měřena na otočném stole obráběcího stroje. Číselníkovým úchylkoměrem při otáčení stolu s obrobkem byla naměřena maximální odchylka  $0,15\text{mm}$ .

Naměřené hodnoty jsou ve shodě s výkresovou dokumentací u všech měřených parametrů, proto je možné tuto technologii výroby prohlásit za vyhovující. To je následně potvrzeno měřením na 3D měřícím zařízení, které odběratel provádí na zakázku u třetí

firmy a podrobuje 100% vyrobených a dodaných dílů. U žádného dílu nebyla dosud zjištěna neshoda,

## 4.2 Ekonomické zhodnocení

Cílem ekonomického zhodnocení je porovnání očekávaných nákladů na výrobu s náklady skutečně vynaloženými. K dosažení zisku je nutné, aby vynaložené prostředky na výrobu jednoho dílu byly menší, než smluvně dohodnutá cena za jeho výrobu. Do nákladů na výrobu musí být zahrnuty finanční prostředky na zhotovení přípravku, cena za nákup nástrojů, náklady na technologickou přípravu celé zakázky a cena samotné výroby. To vše při objednaném minimálním počtu čtyřiceti kusů.

Smluvní cena na výrobu jedné součásti je 63194,- Kč. V této ceně jsou zahrnuty dvě obráběcí operace. První je soustružení dodaného polotovaru na požadované rozměry dle výkresové dokumentace. Druhou obráběcí operací je výroba ozubení.

Cena upínacího přípravku byla spočítána na 43250,- Kč. Do této ceny byla zahrnuta cena materiálu, svařování, tepelného zpracování, tryskání povrchu a dokončení na obráběcích strojích. Patří sem také náklady na výrobu upínek, šroubů, zajišťovacích segmentů a nákup spojovacího materiálu. Po rozdělení této částky na předpokládaný objem výroby jsou náklady 1081,- Kč na jeden dílec.

Další významnou položkou na straně nákladů bylo pořízení obráběcích nástrojů. Šlo o hrubovací a dokončovací frézy japonské značky DIJET, kterou na českém trhu zastupuje firma Creative Tools s.r.o. Volba nástrojů této značky proběhla na základě předchozích pozitivních zkušeností s jejich funkcí a životností. Celková suma prostředků vynaložených na nákup nástrojů je 26479,- Kč. V této částce ale není zahrnuta cena VBD. Celkové náklady na upínací přípravek a nástroje jsou uvedeny v tabulce č. 4.1.

Tabulka 4.1 – Ceny přípravků a nástrojů

	<b>Přípravek</b>	<b>Nástroje</b>	<b>Celkem</b>
<i>Cena</i>	43250,- Kč	26479,- Kč	69729,- Kč
<i>Cena / kus (při 40 kusech)</i>	1081,- Kč	662,- Kč	1743,- Kč

Cena vyměnitelných břitových destiček do nástrojů, spolu s jejich spotřebou, se také významně podílí na výrobních nákladech. Proto je vhodné provést optimalizaci řezných podmínek při obrábění. Volba nízkých řezných podmínek může sice prodloužit životnost nástroje, zároveň však snižuje jeho produktivitu. Naopak příliš vysoké řezné podmínky mají za následek snížení životnosti a častější výměnu VBD. To pak vede k nárůstu nákladů. V tabulce č. 4.2 jsou uvedeny ceny jednotlivých nástrojů spolu s cenami VBD.



Tabulka 4.2 – Ceny nástrojů

Nástroj	Cena nástroje (bez DPH)	Cena VBD (bez DPH)
<i>Ø80 Dijet SKS-6080R-08-27</i>	9692,- Kč	186,- Kč
<i>Ø32 Dijet D32 MQX6032-M16</i>	4463,- Kč	119,- Kč
<i>Ø20 Dijet SKS2020-50-S20</i>	3652,- Kč	157,- Kč
<i>Ø50 Dijet HDM-5050-12R-22</i>	5540,- Kč	159,- Kč
<i>Ø16 Dijet MBN 160-M8-H</i>	3132,- Kč	699,- Kč

Důležitým faktorem ovlivňujícím náklady je počet břitů na jedné destičce. V tabulce č.4.3 jsou uvedeny použité břitové destičky, jejich cena, cena jednoho břitu a spotřeba na jeden vyrobený kus.

Tabulka 3.3 - Ceny VBD

Nástroj	Cena za 1 ks VBD	Počet břitů na 1 VBD	Cena za 1 břit	Spotřeba břitů/kus	Cena VBD na 1kus
<i>Ø80 Dijet SKS-6080R-08-27</i>	186,- Kč	3	62,0 Kč	12	744,- Kč
<i>Ø32 Dijet D32 MQX6032-M16</i>	119,- Kč	2	59,5 Kč	2	119,- Kč
<i>Ø20 Dijet SKS2020-50-S20</i>	157,- Kč	3	52,3 Kč	2	105,- Kč
<i>Ø50 Dijet HDM-5050-12R-22</i>	159,- Kč	4	39,8 Kč	4	159,- Kč
<i>Ø16 Dijet MBN 160-M8-H</i>	699,- Kč	1	699,- Kč	0,33	231,- Kč
				<b>Celkem</b>	1358,- Kč

Největší položkou v nákladech na výrobu je samotné obrábění na CNC frézovacím centru. Cena se odvíjí od času potřebného k obrobení dílce. Měření času probíhalo na obráběcím stroji, u třech po sobě jdoucích dílů. Výsledné časy jsou uvedeny v tabulce č.4.4. Jedná se o aritmetické průměry z těchto tří měření.

Tabulka 4.4 – Časy a ceny operací podle nástrojů

Operace	Čas na 1 zub. mezeru [min.]	Čas na celou součást [min.]	Cena při sazbě 15 Kč/minuta
<i>Přípravné operace</i>	-	150	2250,- Kč
<i>Hrubování - 1. nástroj</i>	109	763	11445,- Kč
<i>Hrubování - 2. nástroj</i>	12	84	1260,- Kč
<i>Hrubování - 3. nástroj</i>	4	28	420,- Kč
<i>Dokončení - 1. nástroj</i>	112	784	11760,- Kč
<i>Dokončení - 2. nástroj</i>	29	203	3045,- Kč
<b>Celkem</b>	<b>266</b>	<b>2012</b>	<b>30180,- Kč</b>

Poslední položkou na straně nákladů je cena za technologickou přípravu projektu. Ta zahrnuje volbu technologie výroby, vytvoření 3D modelů obrobku i upínacího přípravku, vytvoření programu pro CNC stroj. Při rozdělení ceny přípravy mezi vyráběný počet dílců vychází částka 320,- Kč/kus.

Veškeré náklady na výrobu evolventního ozubení modulu 100 na jednom kuse pastorkového hřídele jsou zobrazeny v následující tabulce č.4.5.

Tabulka 4.5 – Náklady na výrobu

Přípravek	Nástroje	VBD	Obrábění	Příprava	Celkem
1081,- Kč	662,- Kč	1358,- Kč	30180,- Kč	320,- Kč	33601,- Kč

Tabulka 4.4 – Porovnání nákladů

Náklady	Soustružení	Frézování	Celkem
Předpokládané	26358,- Kč	36836,- Kč	63194,- Kč
Skutečné	28054,- Kč	33601,- Kč	61655,- Kč

Celkové náklady na výrobu pastorkového hřídele jsou 61655,- Kč. To je o 1539,- Kč méně, než byly předpokládané náklady. Je možné prohlásit, že výroba je zisková.

Ještě je nutné prověřit, zda je možné splnit požadavek zákazníka na plynulé dodávky minimálně dvou kusů výrobku týdně. Obrábění bude probíhat souběžně na CNC soustruhu i frézovacím centru. Při dvousměnném provozu je výrobní kapacita obou pracovišť 80 hodin týdně. Časy nutné k výrobě jednoho a dvou kusů pastorkového hřídele jsou uvedeny v tabulce č.4.7.

Tabulka 4.5 – Výrobní časy

Stroj	Výrobní čas v hodinách na 1 kus	Výrobní čas v hodinách na 2 kusy
Soustruh CNC	31,17	62,3
Frézka CNC	33,53	67,1

Čas potřebný k výrobě dvou kusů výrobku je u obou operací menší, než týdenní kapacita strojů použitých pro výrobu, proto je možné dodávat dva výrobky týdně a splnit tak i tento požadavek zákazníka.

## 5. Závěr

Záměrem této práce bylo najít způsob výroby evolventního ozubení s modulem 100mm ve firmě Strojírny Kalinowski s.r.o. V úvodu jsem se v teoretické části pokusil shrnout problematiku tématu ozubení a ozubených kol. Popsat jejich funkci a způsoby jejich výroby. Z uvedených způsobů přicházela v úvahu, vzhledem k velikosti modulu ozubení, pouze varianta výroby na víceosém CNC frézovacím centru.

Nejprve bylo nutné vybrat konkrétní obráběcí stroj, který by vyhovoval požadavkům, tohoto druhu výroby. Z dostupných strojů bylo vybráno 4-osé frézovací centrum německé firmy KEKEISEN.

V dalším kroku muselo být vyřešeno upínání obrobku. Snažil jsem se navrhnout upínací přípravek tak, aby jeho instalace na stůl stroje byla jednoduchá, rychlá a zároveň přesná z důvodu časté změny druhu práce na tomto stroji.

Následující část byla věnována popisu obráběcích operací a volbě frézovacích nástrojů. Byly popsány hrubovací a dokončovací operace. Profil zubové mezery byl rozdělen na jednotlivé hloubky a ke každé byl přiřazen nástroj. Na základě kladných zkušeností z předchozích podobných zakázek, byly vybrány nástroje firmy DIJET.

V části věnované vytvoření programu pomocí softwaru SolidCAM, byl stručně popsán postup a výhody tohoto způsobu programování CNC strojů.

V závěrečném zhodnocení vybrané technologie jsem se nejprve zaměřil na vyhodnocení technické kvality výrobku. Zde bylo zhodnoceno, že vyrobená součást splňuje všechny technické parametry požadované odběratelem. Na závěr bylo provedeno porovnání nákladů na výrobu jednoho kusu hřídele s dohodnutou cenou. Bylo spočítáno, že výroba, s využitím vybrané technologie, je ekonomicky výhodná.

## 6. Použitá literatura

- [1] TECHPORAL, Konstrukce evolventy. <http://www.techportal.cz/> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: [www.techportal.cz](http://www.techportal.cz)
- [2] JANÁS, Josef. Konkrétní didaktika fyziky I. Brno: MU, ©1995. [online]. [cit. 2016-04-04] Dostupné z: [http://vnuf.cz/sbornik\\_old/Veletrh\\_09/09\\_17\\_Janas.html](http://vnuf.cz/sbornik_old/Veletrh_09/09_17_Janas.html)
- [3] ŠRITR, Jan. Ozubené převody [online]. ©2011, [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://dum.spsnome.cz/2011/tp/sr/sr-tp-sps-03-02-Ozubene-prevody.pdf>
- [4] LUKSA, Marek. Korigovaná soukolí, <http://mlgeardesigns.blog.cz/> [online] ©2013, [cit. 2016-04-05] Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1310/korigovani-soukoli>
- [5] ANAJ a.s. Ovalovací frézy. [www.anaj.cz](http://www.anaj.cz) [online]. ©2016 [cit. 2016-04-07] Dostupné z: <http://www.anaj.cz/nase-nabidka/odvalovaci-frezy/>
- [6] Ozubené kolo. z: Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online], poslední změna 17.2.2016 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9\\_kolo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo)
- [7] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, ©2004. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
- [8] PALÁT, Hynek, VY\_52\_INOVACE, ©2011, [cit. 2016-04-15] Dostupné z: [http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/\\_sablon/STT\\_III/VY\\_52\\_INOVACE\\_I-03-20.pdf](http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/STT_III/VY_52_INOVACE_I-03-20.pdf)
- [9] KASIK Tools s.r.o. Nástroje. [www.kasiktools.cz](http://www.kasiktools.cz), [online]. ©2016 [cit. 2016-04-08] Dostupné z: <http://www.kasiktools.cz/cz/galerie>
- [10] LUKSA, Marek. Protahování a protlačování, <http://mlgeardesigns.blog.cz/> [online] ©2013, [cit. 2016-04-05] Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/protahovani-a-protlacovani>
- [11] SECO Tools s.r.o., Frézování vysokým posuvem. [www.secotools.com](http://www.secotools.com) [online] ©2016 [cit. 2016-04-05] Dostupné z: [https://www.secotools.com/CorpWeb/Products/Milling/Highfeedmilling/gb\\_hfm\\_brochure\\_lr.pdf](https://www.secotools.com/CorpWeb/Products/Milling/Highfeedmilling/gb_hfm_brochure_lr.pdf)

## **7. Seznam příloh**

Příloha A - výrobní výkres součásti